

Marlon Dutra

**EFEITOS DAS FORMAS DE CRESCIMENTO DE CULTIVOS
ALIMENTÍCIOS NO CRESCIMENTO INICIAL DE ÁRVORES
EM CONSÓRCIOS AGROFLORESTAIS**

Dissertação submetida ao
Programa de Pós Graduação em
Agroecossistemas da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do grau de Mestre em
Agroecossistemas.

Orientador: Prof. PhD. Ilyas
Siddique

Coorientador: Prof. Dr. Fernando
Souza Rocha

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dutra, Marlon

Efeitos das formas de crescimento de cultivos alimentícios no crescimento inicial de árvores em consórcios agroflorestais / Marlon Dutra ; orientador, Ilyas Siddique ; coorientador, Fernando Souza Rocha. - Florianópolis, SC, 2015.

77 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas.

Inclui referências


1. Agroecossistemas. 2. Reabilitação Florestal. 3. Sistemas Agroflorestais. 4. Atributos Funcionais. 5. Policultivos. I. Siddique, Ilyas . II. Rocha, Fernando Souza. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

"Efeitos das Formas de Crescimento de Cultivos alimentícios no crescimento inicial de árvores em consórcios agroflorestais."

Por

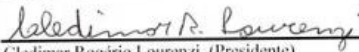
MARLON DUTRA

Dissertação julgada adequada em 30/11/2015 e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas. Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC, sob a orientação de Ilyas Siddique.



Profª. Drª. Maria José Flötz (Subcoordenadora do Programa-Coordenadora substituta)

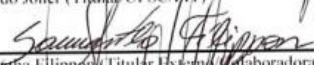
Banca Examinadora:




Cleidimar Rogério Lourenzi, (Presidente)



Fernando Joner (Titular/UFSC/DT)



Samantha Filipponi (Titular Externa/Colaboradora NPFT)



Abdon Luiz Schmidt Filho (Titular /UFSC/PGA)

Candidato ao título:



MARLON DUTRA

Florianópolis, 30 de novembro 2015

Este trabalho é dedicado àquele que é digno de receber toda honra e
glória!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pelo seu cuidado, reconheço que sem ele, eu não seria nada.

A minha família por todo o apoio e compreensão. Aos meus pais Genesio e Luciete, e meus irmãos Samara e Murilo, que me incentivaram e estiveram ao meu lado em todos os momentos.

Ao professor Ilyas Siddique pela orientação, por sua dedicação, paciência e generosidade. Sempre foi uma referência como pessoa, cidadão e principalmente como cientista, com moral e ética exemplares.

Ao coorientador Fernando Rocha, pela amizade e confiança, que foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao Sr. Joe Naab, pela receptividade e autorização na realização e conclusão do estudo em sua propriedade.

A Epagri e ao Gerente Regional da Epagri de Canoinhas, João Donato Noemberg, que ajudou, concedendo meu período de férias para terminar este trabalho.

Agradeço a Marinice Teleginski, que foi essencial para a conclusão deste trabalho. Como colega de trabalho, sempre estive pronta para ajudar, com ideias singulares e trabalho exemplar, os quais demonstram sua excelência para ser uma grande cientista.

Agradeço ao programa de pós-graduação em Agroecossistemas, e aos coordenadores que me mantiveram no programa, e possibilitou a conclusão deste trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

RESUMO

Sistemas agroflorestais (SAFs) possuem grande potencial para produção de alimentos e conservação. Porém, o alto custo de implantação e intervenções de manejo, em partes devido à variabilidade no crescimento inicial associado com intensa competição de árvores com vegetação espontânea, faz com que este modelo de produção seja pouco adotado. O plantio de cultivos de curta duração, adjacentes aos cultivos arbóreos pode ser uma alternativa viável, se isso facilitar o desenvolvimento das árvores cultivadas, por exemplo através da supressão da vegetação espontânea competidora, enquanto já produz alimentos antes das árvores entrarem em produção. No entanto, cultivos vizinhos também podem ter o efeito oposto. Existem poucas combinações de cultivos arbóreos e não-arbóreos reconhecidamente sinérgicas e essas são pouco generalizáveis para outras espécies. A medição de crescimento em plantios de diversas combinações oferece potencial para encontrar combinações promissoras e generalizáveis se explicadas consistentemente pelos atributos funcionais de espécies funcionalmente contrastantes. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o crescimento de policultivos de forma mais generalizada, a partir da medição de atributos funcionais. Foram implantadas 192 subparcelas compostas de uma espécie arbórea com duas espécies vizinhas de uma mesma forma de crescimento (arbusto, herbácea ereta, herbácea basal, testemunha). Os fatores experimentais são: composições de espécies; qualidade de biomassa (alta, média e baixa); longevidade das espécies arbóreas no experimento (média, curta) e forma de crescimento dos vizinhos. Essas subparcelas estão inseridas em 24 parcelas (8x8 m) e quatro blocos (30x20 m). Os resultados encontrados indicam que o crescimento foi melhor explicado pela identidade das espécies arbóreas e de vizinhos do que pelos tipos funcionais. Embora alguns atributos (tanto das árvores como dos cultivos vizinhos) explicaram parte da variabilidade de crescimento inicial, a sua capacidade preditiva foi insuficiente para generalizar padrões de compatibilidade ou incompatibilidade entre cultivos. Concluiu que os tipos funcionais escolhidos neste trabalho não representaram adequadamente os processos de competição e facilitação e sugiro que outros atributos funcionais sejam pesquisados em experimentos futuros de desempenho de policultivos.

Palavras-chave: reabilitação florestal, sistemas agroflorestais, atributos funcionais, plantas companheiras, policultivos, filtros ambientais, plantas invasoras.

ABSTRACT

Agroforestry Systems (AFS) have great potential for food production and conservation. However, the high cost of establishment and management, partly due to variability in initial growth, associated with intense competition with natural vegetation, result, among other factors, in low rates of adoption of this production model. The planting of adjacent short-lived crops could be a viable alternative, whenever it facilitates target tree crop development, for instance by suppressing competing weedy vegetation, while already producing food before the tree crops enter production. However, neighboring short-lived crops may also have a negative effect on the tree crops. Nevertheless, there are few known synergistic combinations of tree and short-term crops and these synergies are not yet generalizable to untested species. By measuring growth of various combinations of species with contrasting life history traits may be a promising way to find generalizable compatible functional types of crops if their performance is explained by functional traits. Thus, this work aims to test the predictive power of crop growth in polycultures from their functional types. We planted 192 sub-plots composed of a tree species with two species of neighboring crops of the same growth form around the tree. The experimental factors were: species identity; quality of biomass (high, medium and low); longevity of tree species in the experiment (medium, short); and neighbors' growth form (shrub, erect herbaceous, basal herbaceous, control tree without neighboring crop). These subplots are grouped in 24 plots with different species combinations (8x8 m) in each of four replicate blocks (30 x 20 m). The results indicate that crop growth was better explained by the identity of the tree species and neighbors than their functional types. I conclude that the chosen functional types did not adequately represent the processes of competition and facilitation and suggest that other functional traits be investigated in future experiments of polyculture performance.

Keywords: forest rehabilitation, agroforestry systems, functional traits, companion plants, polycultures, environmental filters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização do Município de São Pedro de Alcântara no Estado de Santa Catarina.....	27
Figura 2- Área de palmeira real onde foi realizada a pesquisa (LEAP/UFSC, 2013).	28
Figura 3 - Delimitação espacial do experimento (LEAP/UFSC, 2013).....	31
Figura 4 - Esquema de um bloco (LEAP/UFSC, 2013).	32
Figura 5 - Esquema do delineamento experimental dentro de uma parcela no bloco com a composição de espécies ímpar.....	33
Figura 6 - Esquema do delineamento experimental dentro de uma parcela no bloco com a composição de espécies par.....	33
Figura 7 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em altura (1)(cm.ano ⁻¹) e diâmetro (2)(mm.ano ⁻¹) em função da identidade das espécies arbóreas e longevidade (curta=vermelho e média=azul) (média das espécies em cada forma de crescimento e sem vizinho). A classificação da longevidade foi feita de acordo com o conhecimento dos pesquisadores e apoio da literatura para serem facilmente reconhecíveis pelos agricultores. Valores de <i>p</i> e <i>R</i> ² encontrados na tabela 2.....	44
Figura 8 - Crescimento Absoluto em altura (1)(cm.ano ⁻¹) , diâmetro (2)(mm.ano ⁻¹) e volume do tronco (cm ³ .ano ⁻¹) em função da identidade das espécies arbóreas e longevidade(curta=vermelho e média=azul) ((média das espécies em cada forma de crescimento e sem vizinho). Valores de <i>p</i> e <i>R</i> ² encontrados na tabela 2.....	45
Figura 9 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em altura (cm.ano ⁻¹) da amora (1) e tangerina (2) em função dos consórcios de vizinhos (média dos consórcios presentes em todos os blocos para amora e tangerina). Valores de <i>p</i> e <i>R</i> ² encontrados na tabela 2.....	47
Figura 10 - Crescimento absoluto em altura (cm.ano ⁻¹) da amora (1) e tangerina (2) em função dos consórcios de vizinhos (média dos consórcios presentes em todos os blocos para amora e tangerina). Valores de <i>p</i> e <i>R</i> ² encontrados na tabela 3.....	48
Figura 11 - Crescimento absoluto em volume do tronco (cm ³ .ano ⁻¹) da amora em função dos consórcios de vizinhos (média dos consórcios	

presentes em todos os blocos para amora). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.....	49
Figura 12 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em diâmetro das espécies arbóreas (mm.ano ⁻¹) em função da altura dos vizinhos (cm) (1) e projeção da coroa dos vizinhos (cm ²) (2). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.....	50
Figura 13 - Crescimento absoluto em diâmetro das espécies arbóreas (mm.ano-1) em função da altura dos vizinhos (cm) (1) e projeção da coroa dos vizinhos (cm ²) (2). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.	51
Figura 14 - Taxa de Interferência em altura (1) e diâmetro (2) pela presença de vizinhos (RR) em função da identidade da espécie arbórea. Valores acima de um indicam facilitação com a presença de vizinhos (média entre as três formas de crescimento), e valores abaixo de um indicam competição com a presença de vizinhos. Valores iguais a um indicam sem efeito. Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.	52
Figura 15 - Altura das plantas espontâneas (cm) em função (1) da altura dos vizinhos (cm) e (2) projeção da coroa do vizinho (cm ²). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.	53
Figura 16 - Altura das plantas espontâneas (cm) em função (1) da forma de crescimento dos vizinhos (cm) (média das espécies em cada forma de crescimento). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores e níveis do experimento (LEAP/UFSC, 2013). 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das análises de variância para todas as respostas contidas nos resultados que apresentaram diferenças. Valores abaixo de P, *, **, *** denotam diferenças significativas ao nível de 0.05, 0.01, 0.001, respectivamente. 41

Tabela 2 - Resultados dos modelos lineares para todas as respostas que apresentaram diferenças. Valores abaixo de P, *, **, *** denotam diferenças significativas ao nível de 0.05, 0.01, 0.001, respectivamente. 43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	HIPÓTESES	25
1.1.1	Hipótese principal	25
1.1.2	Hipótese secundária	25
2	MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	27
2.2	LOCAL E FATORES LIMITANTES	28
2.3	ESCOLHA E AQUISIÇÃO DAS ESPÉCIES PARA O EXPERIMENTO	28
2.4	FATORES EXPERIMENTAIS	29
2.5	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	31
2.6	AMOSTRAGENS	34
2.7	ANÁLISE DOS DADOS	35
3	RESULTADOS	39
3.1	CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS	39
3.2	AUXÍLIO AO CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS	51
3.3	DESEMPENHO DOS VIZINHOS	53
4	DISCUSSÃO	55
4.1	DESENVOLVIMENTO DAS ESPÉCIES NO SISTEMA	55
4.1.1	Crescimento das espécies arbóreas	55
4.1.2	Crescimento dos vizinhos	57
4.2	USO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS E IMPLICAÇÕES PARA O DESENHO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS	59
4.3	LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS	60
5	CONCLUSÕES	63

REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICES	72

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos, o cultivo de produtos alimentícios com uso de insumos químicos como, fertilizantes solúveis de síntese química e pesticidas, tem levado a enormes ganhos de produtividade em todo o mundo, por meio do progresso da revolução verde. Este esquema foi julgado até agora eficiente pelos paradigmas predominantes da economia e otimização industrial que visam maximizar, rendimentos e lucros a curto prazo. (WEINER, 2003).

No entanto os problemas gerados pela intensificação do uso agrícola das terras, mudança climática, e desaceleração do crescimento da produção, tornam os recursos naturais cada vez mais limitantes, causando perdas da fertilidade do solo, água, biodiversidade e energia (ALSTON et al., 2009).

As tecnologias criadas pela revolução verde não promovem a sustentabilidade produtiva (GOMIERO, et al., 2008; (GOMIERO et al.; 2011a), pois provocam impactos negativos que são observados através de erosão do solo, perda de biodiversidade, aumento contínuo de pragas e doenças, intoxicações de agricultores por agrotóxicos, emissão de gases do efeito estufa, falta de alimentos diversos e saudáveis para mercados locais/regionais (GOMIERO et al., 2011b), o que tem levado a busca de novos métodos de produção (MALÉZIEUX, 2012).

Por outro lado, os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de produção que possuem grande potencial para mitigar todos esses problemas simultaneamente (VANDERMEER & PERFECTO, 2007) já que árvores apresentam capacidade para produção de alimentos em sistemas compostos (KELTY, 2006).

Segundo Farrell & Altieri (2002), sistemas agroflorestais são sistemas antigos de uso da terra e amplamente praticados, onde árvores combinam-se espacialmente e temporalmente com animais e cultivos agrícolas anuais e/ou semiperenes. Segundo Gómez-Pompa (1996), a história dos sistemas agroflorestais é tão antiga quanto à agricultura, como informa que provavelmente a primeira forma de agricultura tenha sido a arboricultura ligada ao manejo de bosques.

Porém, existe baixa adoção entre agricultores e alto custo de implantação. Isto é em parte devido à variabilidade na sobrevivência e crescimento inicial, associado com intensa competição de árvores com vegetação espontânea (BENTES-GAMA, 2005).

Uma alternativa econômica, ecológica e socialmente viável pode ser o plantio de cultivos de curta duração como vizinhos próximos

das árvores (sistema agroflorestal “taungya”); para que compitam com a vegetação espontânea, auxiliem o crescimento e sobrevivência das árvores, e deem retorno econômico cedo enquanto as árvores ainda não gerem retorno (RODRIGUES et al., 2008). Entretanto, alguns cultivos plantados como vizinhos podem competir com as árvores juvenis potencialmente reduzindo sobrevivência e crescimento das árvores alvo de interesse econômico ou ecológico (GÓMEZ-APARICIO, 2009).

Ainda existem lacunas sobre o entendimento das relações que acontecem entre plantas (FOLEY et al., 2011), raros são os dados disponíveis sobre efeito de espécies vizinhas. Alguns poucos trabalhos sugerem que os efeitos são variáveis e dependem das espécies e do ambiente (YIN & HE 1997; RODRIGO, 2001; MARCOS, 2007; FLETCHER et al., 2012).

Kelty (2006) ressalta a importância de encontrar composições de espécies capazes de produzir interações, que aumentam a produtividade, combinando tolerância à sombra, taxa de crescimento, fenologia foliar, estruturas de copa e profundidade de raízes, dos indivíduos em relação à monocultura, permitir produtos de colheita de diferentes espécies em diferentes rotações, reduzir o risco de mudanças no mercado ou impactos causados por insetos ou doença.

O estudo das composições de plantas permitirá implementar com sucesso sistemas integrados que cumpram mais funções e serviços ecossistêmicos (SANDERSON et al., 2013). A probabilidade de sucesso é maior se as interações negativas forem minimizadas e as árvores crescerem sobre interações sinérgicas com os outros componentes do sistema (JOSE & GORDON, 2008).

A seleção de um grande número de espécies pode fornecer acesso facilitado a recursos limitantes (Ex.: luz, espaço, nutrientes, água), aumentar a produção e possuir uma maior probabilidade de conter espécies altamente adaptadas às condições limitantes do meio (MALEZIEUX et al., 2009). Assim, é importante novos estudos com um número maior de espécies arbóreas e desenhos com cultivos vizinhos para entender as interações que ocorrem em policultivos (KELTY, 2006).

No entanto, o número grande de espécies de árvores e de cultivos vizinhos inviabiliza a experimentação de todas as combinações relevantes numa determinada condição ambiental. O ambiente funciona como um filtro, removendo os indivíduos que não apresentam determinada adaptação (KEDDY, 1992). A presença e abundância dos

indivíduos podem ser interpretadas como uma resposta à variação dos fatores (DÍAZ et al., 1992; PILLAR, 1999).

As características ambientais de determinados locais são importantes por que podem impedir ou limitar a restauração de um ecossistema, pois no conjunto de espécies, a filtragem ambiental seleciona naturalmente os indivíduos e garante o estabelecimento das espécies mais adaptadas, consequentemente aumentando sua abundância (LEBRIJA-TREJOS et al., 2010).

Há forte evidência que a variabilidade de características dentro e entre espécies podem ser medidas e relacionadas com processos ecológicos importantes, as quais foram chamadas de atributos funcionais (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Segundo Violle et al., (2007), atributos funcionais são quaisquer características morfológicas (área foliar, hábito de crescimento), fisiológica (fotossíntese, respiração, N foliar) ou fenológicas (frutificação), que devem ser mensuráveis no nível individual, a partir da célula até todo o organismo. Estas fornecem dados para avaliar os efeitos que ocorrem nos indivíduos, que potencialmente afeta o seu desempenho ou a capacidade de adaptação, ajudando também a explicar os mecanismos de resposta nos agroecossistemas (VIOLE et al. 2007; DÍAZ & CABIDO 2001).

Dentro dos atributos funcionais ocorrem divisões, como em atributos de performance, efeito e resposta. Os atributos de performance são aplicados nos indivíduos em características como reprodução e sobrevivência. Os atributos de resposta mostram como as plantas reagem às mudanças ambientais. E os atributos de efeito são efeitos da planta sobre o funcionamento ecossistêmico, e sua resposta é ecossistêmica, e são quaisquer atributos que reflitam o efeito da planta as condições ambientais (VIOLE et al. 2007; DÍAZ & CABIDO 2001).

A utilização dos atributos funcionais foi pensada inicialmente para ambientes naturais, mas Garnier & Navas (2012), afirmam que as principais dimensões da variação entre espécies no uso dos recursos, dispersão de sementes e suas interações com vizinhos podem ser capturadas com atributos chave (área foliar específica, altura das plantas e massa das sementes) mesmo para ambientes moldados pelo homem. Lavorel et al. (2007), afirma que os atributos podem ser medidos em qualquer ambiente e fornecer dados de comportamento das espécies no ambiente, com grande capacidade de generalização.

No entanto, atributos funcionais possuem algumas limitações se pensarmos na dificuldade dos agricultores e técnicos em realizar medições e observações mais apuradas sobre as dinâmicas do

ecossistema. Também se deve considerar, a complexidade de classificação de atributos funcionais por pessoas com pouca experiência, a necessidade de conhecimentos em ecologia de plantas, o uso adequado de equipamentos para procedimentos laboratoriais e dificuldade de treinamento.

Gómez-Aparicio (2009) demonstra que determinados tipos funcionais de cultivos vizinhos podem apresentar efeitos sinérgicos sobre árvores como espécies alvos facilitando seu estabelecimento.

Tipos funcionais de plantas, são um conjunto de espécies que possuem respostas similares às condições de ambiente e apresentam efeitos parecidos sobre os processos dominantes do ecossistema. Também se caracterizam como grupos de plantas que compartilham alguns traços de interesse em comum, que são muitas vezes utilizadas para determinar se as espécies têm diferentes estratégias ecológicas para a reprodução e captura de recursos (McGILL, et al., 2006).

Nesse contexto se torna interessante identificar tipos funcionais de vizinhos que tem maior potencial para facilitar o crescimento de tipos funcionais de árvores.

Gómez-Aparicio (2009) em seu trabalho de meta-análise com 165 estudos analisados (baseados em 674 estudos de caso) quantificou diferenças generalizáveis entre os efeitos de diferentes tipos funcionais de vizinhos sobre a sobrevivência e crescimento de árvores alvos na recuperação de ecossistemas degradados. As espécies foram divididas em três categorias: **herbáceas** (plantas sem crescimento de lenho), **arbustos** (plantas com crescimento de lenho, mas com ramificações abaixo de 50 centímetros de altura) e **árvores** (plantas com formação de lenho no caule e com ramificações acima de 50 centímetros).

Para as avaliações foi instituída uma distância de efeito que uma categoria poderia causar a mesma categoria ou outra categoria, e compararam-se os resultados encontrados com plantas em consórcios x sem consórcios através do logarítmo da divisão dos resultados encontrados. Os resultados apresentam efeitos negativos para a sobrevivência quando as seguintes categorias são comparadas: herbáceas x herbáceas; herbáceas x arbustos; herbáceas x árvores. Os resultados positivos ocorreram nas seguintes comparações avaliadas: arbustos x herbáceas; arbustos x arbustos; arbustos x árvores; árvores x arbustos; árvores x árvores.

Para o crescimento, os efeitos negativos são encontrados quando comparou as seguintes categorias: herbáceas x herbáceas; herbáceas x arbustos; herbáceas x árvores; árvores x herbáceas; árvores

x árvores. Os efeitos positivos foram encontrados comparando-se as categorias: arbustos x herbáceas; arbustos x arbustos; arbustos x árvores.

Os resultados de Gómez-Aparicio (2009), apresentam os arbustos como plantas facilitadoras de crescimento. Ao se tratar da intensidade e os efeitos de tipos funcionais de espécies de vizinhos sobre espécies de árvores alvo, é possível que os mesmos efeitos de facilitação (presença de arbustos junto a árvores alvo) encontrados por Gómez-Aparicio (2009) se repitam em consórcios agroflorestais para a produção de alimentos.

Dessa maneira, com o gargalo existente na implantação de sistemas agroflorestais de baixo custo, com otimização de recursos e diminuição do uso de mão-de-obra, é necessário testar combinações de plantas e mensurar seus atributos para verificar se os mesmos padrões encontrados em sistemas de recuperação ambiental se confirmem em sistemas que utilizam plantas alimentícias.

Esse trabalho tem como objetivo inferir sobre os efeitos do desempenho de policultivos de forma mais generalizada a partir de combinações entre tipos funcionais de vizinhos e tipos funcionais de árvores alvo.

1.1 HIPÓTESES

1.1.1 Hipótese principal

Os tipos funcionais simplificados explicam melhor o crescimento arbóreo juvenil comparado à identidade das espécies em sistemas agroflorestais com consórcios alimentícios.

1.1.2 Hipótese secundária

O crescimento arbóreo pode ser explicado:

- a. Pela presença e identidade da espécie arbórea e cultivos vizinhos, ou;
- b. Pelos atributos funcionais simplificados das árvores e dos cultivos vizinhos como;
 - i. Pelo tamanho ou formato dos cultivos vizinhos.
 - ii. Pela altura das plantas espontâneas adjacentes;

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de São Pedro de Alcântara, Santa Catarina (figura 1). O clima deste município é classificado como clima subtropical úmido sem estação seca, com verão quente (temperatura do mês mais quente acima de 22 °C) e inverno mesotérmico brando (temperatura média do mês mais frio entre 10 e 15 °C). A precipitação pode variar de 1.220 a 1.660 mm/anuais, com 102 a 150 dias anuais de chuva e umidade relativa do ar varia de 81,4 a 82,2%. Pode ocorrer de 0,3 a 9 geadas anuais com 164 a 437 horas/frio/ano (horas com temperatura abaixo de 7,2 °C), e insolação de 1.855 a 2.182 horas/anuais. O solo que forma esta região em sua maioria é granitóides foliados de composição diversa. O limitante é a declividade sendo de aptidão regular para fruticultura e boa para pastagens e reflorestamento (SIMINSKI et al., 2004; EPAGRI, 2007).

Figura 1- Localização do Município de São Pedro de Alcântara no Estado de Santa Catarina.



Fonte: Site Prefeitura Municipal de São Pedro de Alcântara, 2014

As espécies predominantes na região, segundo Epagri (2007), são canela-preta (*Ocotea catharinensis*), Caxeta (*Tabebuia cassinoides*), Palmiteiro (*Euterpe edulis*), Baguaçu (*Talauma ovata*), Maria-mole (*Guapira opposita*), Ingabaú (*Gomidesia tijucensis*), Aguai (*Chrysophyllum viride*), Guaçá-maciele (*Trichilia schumanniana*), Peroba (*Aspidosperma olivaceum*), Bicuíba (*Virola oleifera*), Guamirim-ferro (*Calypttranthes lucida*).

2.2 LOCAL E FATORES LIMITANTES

O presente trabalho foi realizado na propriedade de Joseph Patrick Naab no período de agosto de 2013 a julho de 2014 em uma área de Palmeira Real (*Archontophoenix cunninghami*) que encontrava-se sem manejo (figura 2). O trabalho foi constituído pelo plantio de espécies herbáceas e arbóreas resistentes aos fatores limitantes identificados no local (pH baixo, geada, ventos frios, solo compactado) para a formação de um sistema agroflorestal. A sistematização e preparo da área para o plantio das espécies ocorreu em setembro/outubro de 2013 em conjunto com alunos da disciplina de sistema agroflorestais – UFSC, voluntários, proprietário do terreno e pessoas contratadas pelo proprietário.

Figura 2 - Área de palmeira real onde foi realizada a pesquisa (LEAP/UFSC, 2013).



Fonte: O autor

2.3 ESCOLHA E AQUISIÇÃO DAS ESPÉCIES PARA O EXPERIMENTO

As espécies foram escolhidas a partir de características que as tornam capazes de se estabelecer neste agroecossistema, como: capacidade de resistir a ventos frios e geadas, boas competidoras por luz, tolerantes ao sombreamento, tolerantes à seca, adaptadas aos nutrientes disponíveis e espaço, tolerantes a ambientes distróficos com pH baixo.

As espécies para o plantio foram adquiridas de diversos locais, devido à característica de grande diversidade do experimento. O

germoplasma foi adquirido de Viveiro Apremavi (Atalanta, SC), Projeto carbono social em rede (Lages, SC) Viveiros Weber (Bento Gonçalves, RS), Herbivale agropecuária (Santo Amaro da Imperatriz, SC) e produtores rurais familiares da região de Florianópolis (SC). Todo o germoplasma para cada espécie foi adquirido de um mesmo local e de um mesmo lote. No total foram plantadas 32 espécies diferentes, caracterizadas pela qualidade de biomassa e hábito de crescimento que possuem. O tamanho inicial das mudas adquiridas para as árvores foi de 20 a 60 cm, sempre com a menor variação possível dentro de cada espécie. Foram utilizadas diversas formas de propagação dentro das formas de crescimento para evitar que o germoplasma adquirido influencie no resultado final do experimento. A lista de espécies utilizadas encontra-se no apêndice A.

Para todos os vizinhos foi pensada uma distância em relação à árvore para que esta pudesse desenvolver-se e ao mesmo tempo sofrer algum tipo de interação com esse vizinho, ou seja, pensando no tamanho final das espécies de vizinho ao final do primeiro ciclo de produção. Os vizinhos foram plantados a diferentes distâncias para garantir essa interação. Dependendo da distância de plantio em relação à árvore, cada extensão recebeu números de pontos de plantios diferentes. Assim rapidamente todo o espaço livre dentro da subparcela foi ocupado de modo que plantas com tamanhos finais menores, ou com crescimento mais lento, ocupassem seu espaço e desempenhasse seu papel ambiental.

Para garantir pelo menos um indivíduo em cada ponto de plantio, foram colocados números diferenciados de propágulos, dependendo da espécie, distância da árvore e qualidade do germoplasma. Também foram feitas avaliações nas plantas espontâneas que se desenvolveram, para avaliar o impacto no crescimento das espécies e vizinhos plantados. Estas informações estão disponíveis no apêndice B.

2.4 FATORES EXPERIMENTAIS

O experimento possui um delineamento fatorial em parcelas subdivididas com quatro fatores que são; a) **qualidade de biomassa** (definida pela quantidade de g/kg N foliar); b) **composição de espécies**; c) **longevidade das espécies**; d) **formas de crescimento** das plantas em relação à espécie alvo arbórea.

Dentro de cada fator há diferentes níveis. Assim, o primeiro fator conta com três níveis (**alta qualidade** de biomassa que é definida

sendo > 30 g/kg de N foliar para herbáceas e > 25 g/kg de N foliar para arbustos e árvores, **média qualidade** que é definida pela composição equilibrada de espécies de alta e baixa qualidade, e **baixa qualidade** de biomassa definida por < 25 g/kg de N foliar para herbáceas e < 20 g/kg de N foliar para arbustos e espécies arbóreas).

O **segundo fator** apresenta dois níveis (composição de espécies 1 e 2), ou seja, dentro de cada bloco há 6 parcelas, sendo que duas são de alta qualidade de biomassa, duas de média qualidade de biomassa e duas de baixa qualidade de biomassa, no entanto, a composição de espécies é diferente, e por isso são chamadas de superiores e inferiores. As parcelas superiores possuem as mesmas formas de crescimento que as inferiores, no entanto, as espécies que compõem as parcelas superiores não se repetem nas inferiores.

O **terceiro fator** é composto de dois níveis: **média e curta** longevidade. As espécies de média e curta longevidade foram agrupadas de acordo com o conhecimento dos pesquisadores e apoio da literatura para serem facilmente reconhecíveis pelos agricultores. As espécies de média vida ficarão mais tempo produzindo no ambiente. Já as espécies de curta longevidade foram escolhidas por produzirem precocemente, tolerarem sombreamento durante a fase de produção, aceitarem bem podas regulares ou serem mudas baratas. Assim, a partir de alguns anos quando a densidade de espécies for muito alta dentro da parcela, estas podem ser eliminadas sem terem custado muito e já terem produzido (esse fator foi abreviado para Longev nos modelos).

O **quarto fator** apresenta quatro níveis: **árvore x arbusto, árvore x herbácea basal, árvore x herbácea ereta, árvore x sem plantio**. As formas de crescimento utilizados foram adaptadas da metodologia proposta por Cornelissen et al., (2003), onde espécies com caules eretos muito curtos, caules subterrâneos, caules prostrados e caules laterais próximos ao solo foram classificadas no grupo **herbácea basal**. Plantas herbáceas com caule ereto e folhas concentradas no meio e alto da planta foram classificadas como **herbáceas eretas**. Plantas herbáceas gigantes com tamanho e forma de crescimento arbustivo, plantas lenhosas com copa principal perto do solo e geralmente ramificadas na base ou plantas lenhosas geralmente consideradas árvores, mas que são forçados pela poda em forma de crescimento arbustivo são classificadas como **arbusto e pseudo-arbustos** e por último o hábito **arbóreo** que é composto de árvores caducifólias, perenifólias e palmóides. Os fatores e os níveis são apresentados no quadro 1 e as composições de árvores e vizinhos estão no apêndice C.

Quadro 1 - Fatores e níveis do experimento (LEAP/UFSC, 2013).

FATORES	NÍVEIS
Qualidade de Biomassa	Alta
	Média
	Baixa
Composição	1
	2
Longevidade	Média
	Curta
Hábito de Crescimento	Herbáceas basais
	Herbáceas eretas
	Arbustos

Fonte: Elaborado pelo autor

2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

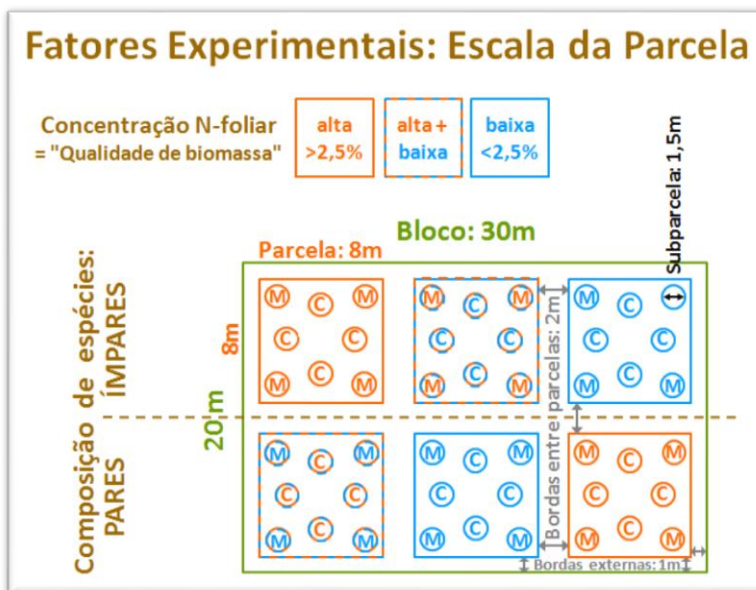
O experimento foi formado por 4 blocos com dimensões de 30 x 20 metros (600 m²), com 6 parcelas (figura 3).

Figura 3 - Delimitação espacial do experimento (LEAP/UFSC, 2013)

Fonte: Google Earth, 2013.

Cada parcela (8 x 8m) foi composta por oito subparcelas (figura 4), não havendo repetição da espécie dentro de cada parcela de alta e baixa qualidade de biomassa. As parcelas de média qualidade foram formadas pela junção equilibrada de espécies de alta e baixa qualidade. Dentro da parcela, cada espécie alvo (árvore) e seus vizinhos foram casualizados e por motivos de duração do experimento (este experimento será de longa duração), adequamos às espécies, as distâncias e os locais para que em poucos anos as espécies de curta longevidade sejam retiradas da parcela.

Figura 4 - Esquema de um bloco (LEAP/UFSC, 2013).



Fonte: Elaborado pelo autor

O experimento foi formado por 192 subparcelas circulares de 1,5 m de diâmetro, divididas pela: (i) qualidade de biomassa, definida pela quantidade de nitrogênio foliar. Cada subparcela foi composta de uma árvore central com duas espécies de cultivos vizinhos. Para as parcelas de alta qualidade, tanto a árvore quanto os vizinhos possuem alta qualidade de biomassa. Para as parcelas de baixa qualidade, as árvores e os vizinhos possuem baixa qualidade de biomassa. Para as parcelas de média qualidade, foi feito o consórcio de árvores e vizinhos com

qualidades de biomassa diferentes, ou seja, onde há uma árvore com alta qualidade de biomassa, os vizinhos são de baixa qualidade, e cada bloco possui 4 árvores de média vida e curta vida de alta e baixa qualidade, com vizinhos da qualidade de biomassa oposta. O número de indivíduos diferiu conforme a espécie de vizinho (figuras 5 e 6).

Figura 5 - Esquema do delineamento experimental dentro de uma parcela no bloco com a composição de espécies ímpar

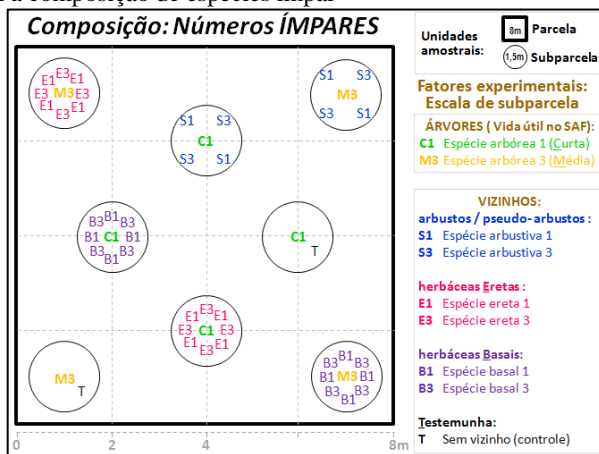
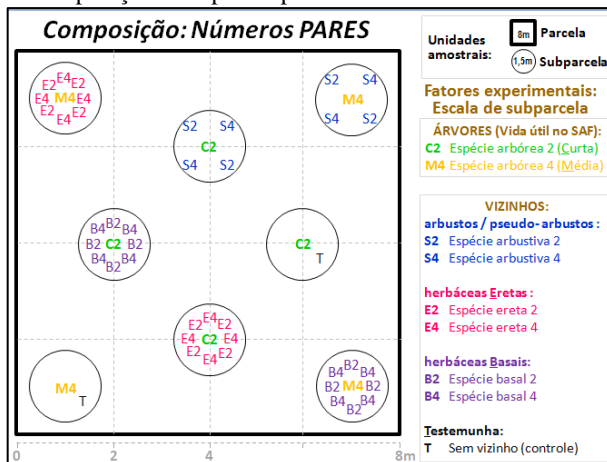


Figura 6 - Esquema do delineamento experimental dentro de uma parcela no bloco com a composição de espécies par.



Fonte: Laboratório de Ecologia aplicada UFSC, 2013

O espaçamento entre os corredores das parcelas foi de 2 metros para evitar que material de diferentes parcelas pudesse ser arrastado pelo vento, ou outros fatores não controláveis que poderiam vir a provocar erros experimentais. Os vizinhos de cada árvore foram pensados para encontrarmos sinergias entre espécies para desenhar sistemas agroflorestais que precisem de pouca intervenção inicial.

Foi aplicado calcário dolomítico na área da subparcela (0,57 kg de calcário com PRNT 100%). O plantio das espécies ocorreu em outubro de 2013, com aplicação de bokashi (mistura balanceada de origem vegetal e/ou animal, submetidas a processo de fermentação controlada (SIQUEIRA & SIQUEIRA, 2013) na quantidade de 6 Kg por subparcela, divididos em dois quilogramas para a árvore e o restante igualmente dividido entre os pontos de plantio das espécies vizinhas. Durante o período de crescimento foram realizados os tratos culturais necessários.

2.6 AMOSTRAGENS

A coleta de material/medição das respostas ocorreu em janeiro de 2014 e fim da primeira estação de crescimento julho de 2014.

Os dados coletados foram divididos em duas categorias distintas de respostas e preditores:

1) RESPOSTA: taxas de crescimento e sobrevivência.

ÁRVORES:

- **Altura (cm):** A altura foi considerada desde o colo da planta até o ponto fotossintético mais alto Pérez-Harguindeguy et al., (2013). A altura foi medida desde a base da planta até o ponto que a planta está com tecido vivo mais alto (sem levantar a planta) com o motivo de capturar a altura máxima de tecido fotossintético para interpretação comparativa de competição por luz com a medição equivalente dos vizinhos cultivados (consórcios de vizinhos e espontâneos).
- **Diâmetro altura da base (DAB):** O diâmetro foi tomado a 1cm do nível do solo (Siebeneichler et al., 2008) e medido com paquímetro digital;
- **Volume do tronco: (cm³):** Medida proposta pela seguinte equação:
- **Volume do tronco = (Altura da árvore * Área basal da árvore)/2**

- Área basal da árvore = $\text{PI} * (\text{diâmetro altura da base da árvore} / 2)^2$

CULTIVOS VIZINHOS:

- **Altura:** Medida desde a base da planta até o ponto que a planta está com tecido vivo mais alto (sem levantar a planta).
- **Comprimento horizontal:** maior comprimento horizontal medido da planta mais larga que se encontram no ponto de plantio; (comprimento de todas as plantas quando tem mais de uma em um ponto de plantio, como se todas fossem uma só).
- **Comprimento em 90° (perpendicular) ao comprimento horizontal:** Medida de diâmetro exatamente a 90° da medida do comprimento horizontal.

ESPONTÂNEAS:

- **Altura da espontânea mais alta comparada com o/s vizinhos:** Medida desde a base da planta até o ponto que a planta está com tecido vivo mais alto (sem levantar a planta). Esta medida foi obtida da maior espontânea que se encontrava em um raio de até 25 cm do vizinho de interesse.

- 2) **PREDITORES:** Atributos funcionais das árvores e dos vizinhos
 - i. Longevidade das espécies;
 - ii. Formas de crescimento;

Seguindo metodologia proposta por Pérez-Harguindeguy et al., (2013) e Cornelissen et al., (2006).

2.7 ANÁLISE DOS DADOS

As análises estatísticas foram realizadas no software R. Os modelos ajustados foram mistos devido ao poder de generalização que o experimento apresenta.

Como os dados não atenderam aos pressupostos de homogeneidade de resíduos e distribuição normal utilizou-se o teste de Monte Carlo para as análises estatísticas.

Com o fim de avaliar os fatores genéricos que avaliam o crescimento das árvores foram apresentadas duas hipóteses:

H1: O crescimento arbóreo é explicado melhor:

a. Pelos atributos funcionais arbóreos do que pela identidade da espécie arbórea;

b. Pela presença e pela forma de crescimento (ou outros tipos funcionais ou atributos funcionais) dos cultivos vizinhos do que pela identidade dos cultivos vizinhos ou pelo tamanho ou formato dos cultivos vizinhos ou pela altura das plantas espontâneas adjacentes:

Para responder estas hipóteses foram propostos os seguintes modelos genéricos alternativos e comparados com o critério do R^2 , dado que os modelos comparados contém o mesmo número de termos:

$$TCR_{\text{árvore}} = \alpha + T_{\text{árvore}} + \gamma_j + \varepsilon \quad (\text{Equação 1})$$

$$TCR_{\text{árvore}} = \alpha + T_{\text{vizinho}} + T_{\text{espontânea}} + \gamma_j + \varepsilon \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$TCR_{\text{árvore}}$ = Taxa de Crescimento Relativo (Pérez-Harguindeguy et al., 2013) da árvore alvo

$$= (\ln(T_2 + 1) - \ln(T_1 + 1)) / t_2 - t_1 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

T_2 ; T_1 = Tamanho da árvore (altura ou diâmetro na base DAB) no censo t_2 ; t_1

t_2 ; t_1 = Data do último censo t_2 ; data do primeiro censo t_1 ($t_2 - t_1$ expressado em meses)

α = Intercepto no eixo Y

$T_{\text{árvore}}$ = identidade e atributos funcionais das espécies arbóreas (A árvore foi avaliada pela espécie, longevidade e quantidade de nitrogênio foliar).

T_{vizinho} = Identidade e atributos funcionais dos cultivos vizinhos (O vizinho foi avaliado por medições da altura, diâmetro médio horizontal ou altura * diâmetro dos vizinhos, forma de crescimento, tipo funcional, consórcio de espécies)

$T_{\text{espontânea}}$ = Desempenho das plantas espontâneas (Medido pela altura da planta espontânea mais alta num raio de 25cm da árvore alvo).

γ_j = Efeito aleatório do bloco jj

ε = Erro aleatório

H2: A Taxa de Interferência (RR, *response ratio*) do crescimento arbóreo é explicado melhor:

- a. Pelos atributos funcionais arbóreos do que pela identidade da espécie arbórea;
- b. Pela forma de crescimento (ou outros tipos funcionais ou atributos funcionais) dos cultivos vizinhos do que pela identidade dos cultivos vizinhos ou pelo tamanho ou formato dos cultivos vizinhos ou pela altura das plantas espontâneas adjacentes

$$RR_{\text{árvore}} = \alpha + T_{\text{árvore}} + \gamma_j + \varepsilon \quad (\text{Equação 4})$$

$$RR_{\text{árvore}} = \alpha + T_{\text{vizinho}} + T_{\text{espontanea}} + \gamma_j + \varepsilon \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$RR_{\text{árvore}}$ = Interferência em relação à presença e/ou ausência de vizinhos (Pérez-Harguindeguy et al., 2013) com a árvore alvo
 $= T_{x.\text{presença de vizinhos}} / T_{x.\text{sem vizinho}}$

Onde:

$= T_{x.\text{presença de vizinhos}}$ (é a Taxa de crescimento em altura, DAB ou volume do tronco da árvore com vizinho.

$= T_{x.\text{sem.vizinho}}$ (é a Taxa de crescimento em altura, DAB ou volume do tronco das árvores sem vizinhos [testemunhas]).

A divisão ocorre dentro da mesma parcela por árvores com a mesma espécie e longevidade.

Os demais componentes do modelo estão explicados em **H1**.

Com o fim de avaliar os fatores genéricos que avaliam o crescimento dos vizinhos foi apresentada a seguinte hipótese:

H3: O crescimento dos cultivos vizinhos é melhor explicado pela forma de crescimento (ou qualidade da biomassa) dos cultivos vizinhos do que pela altura das espontâneas.

$$T_{\text{espontânea}} = \alpha + T_{\text{vizinho}} + \gamma_j + \varepsilon \quad (\text{Equação 6})$$

Realizou-se análise exploratória dos resíduos dos dados e verificou-se que não aderiram a distribuição normal e homogeneidade de variância. No passo seguinte, tentou-se transformar os dados, mas a violação dos pressupostos se manteve. Com isso, buscou-se novos métodos de análises que independem de distribuição normal e

homogeneidade dos resíduos. Para o conjunto de dados, a melhor opção foi utilizar o teste de Monte Carlo, baseado na teoria da aleatorização.

Utiliza-se a técnica de Markov chain Monte Carlo (MCMC ou testes Monte Carlo) quando não se pode normalizar os resíduos, e não tem outras propriedades distribucionais compatíveis com modelos lineares generalizados (GLM). A técnica de Monte Carlo exige a independência das amostragens como pressuposto. Utilizando como resposta as taxas de crescimento relativo, este pressuposto é atendido. Esta técnica permite o desenho aleatório de possíveis rearranjos para utilizar no lugar da distribuição da permutação completa. Essa teoria apresenta como vantagem o fato de que, ao invés de examinar todos os rearranjos possíveis, reduz substancialmente os cálculos, examinando uma pequena e representativa amostra aleatória (GOOD, 2005).

A aplicação da técnica consiste em reorganizar os dados de forma aleatória, calcular a estatística de teste para os dados reorganizados e comparar o seu valor com o da estatística da amostra original.

Quando o teste encontra o resultado final antes de 5.000 repetições é aplicado um “parar” para determinar se já podemos aceitar ou rejeitar a hipótese, ou continuar as amostragens até o máximo de 5.000 conjuntos aleatorizados. Todos os testes de hipóteses baseados em permutações foram executados usando a função `aovp()` do pacote `lmPerm` versão 1.1-2 (WHEELER, 2010) no programa R (R CORE TEAM, 2014).

Nos modelos para os quais alguns preditores não contribuíram para explicar o desempenho da árvore (**H1**; **H2**) e dos cultivos vizinhos (**H3**), foram retirados.

Portanto, iniciamos com um modelo completo, mas mantivemos o modelo com menor número de preditores que explicaram a variação.

A teoria não exclui a possibilidade que qualquer um dos preditores pode ser mais importante que os outros no mesmo modelo. Por esse motivo todas as análises foram baseadas em testes 'únicos', ou seja, as Somas de Quadrados (SS) para cada termo no modelo estão condicionados a todos os outros termos no modelo, sem importar a ordem que aparecem no modelo (Wheeler 2010). Isso significa que uma mudança na ordem dos termos no modelo não muda os resultados, diferente dos testes sequenciais nos quais os efeitos dos termos ulteriores no modelo são condicionados aos efeitos dos termos anteriores no mesmo.

3 RESULTADOS

O crescimento das árvores variou durante o primeiro ano de -28 a 223 cm.ano^{-1} em altura e de -8 a 46 mm.ano^{-1} em diâmetro basal. As espécies que apresentaram o maior crescimento, tanto em altura, quanto em diâmetro e volume do tronco foram amora, goiaba e ingá. Já a espécie que apresentou o menor crescimento foi o caqui.

Em geral houve uma baixa mortalidade de árvores (6 do total de 192 indivíduos plantados). Caqui foi a única espécie com uma mortalidade alta durante os primeiros 6 meses de avaliação após o plantio (20,83 %).

Os vizinhos influenciaram o crescimento das espécies arbóreas, sendo que o efeito geral foi negativo (competição). Alguns consórcios competiram mais com as espécies arbóreas, no entanto, também houve efeitos positivos, porém, foram pouco evidenciados.

Os cultivos vizinhos apresentaram efeito sobre o crescimento das plantas espontâneas e quanto mais o vizinho se desenvolveu em altura e projeção da coroa, mais as plantas espontâneas se desenvolveram em altura.

3.1 CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS

Os resultados foram significativos para a taxa de crescimento relativo em altura e diâmetro (figura 7) e crescimento absoluto (figura 8) em função da espécie arbórea e longevidade. Os valores de p e R^2 são encontrados na tabela 2.

Amora ($p < 0,0001$) e goiaba ($p < 0,0001$) foram às espécies que melhor desempenharam em crescimento em altura, enquanto que caqui ($p < 0,0001$) foi a que teve o pior resultado. O ingá ($p < 0,0001$) e goiaba ($p < 0,0001$) foram as espécies que melhor desempenharam em crescimento em diâmetro, porquanto que caqui e tangerina tiveram os piores resultados.

Sobre o crescimento absoluto, a identidade das espécies arbóreas influenciou o desempenho em altura, diâmetro altura da base e incremento em volume do tronco. Amora ($p < 0,0001$) e goiaba ($p < 0,0001$) foram às espécies que mais cresceram durante a primeira estação de crescimento, enquanto que o caqui apresentou os piores resultados ($p < 0,0001$).

Para o crescimento absoluto em diâmetro altura da base, as espécies amora ($p < 0,0001$), goiaba ($p < 0,0001$) e ingá ($p < 0,0001$)

tiveram os maiores acúmulos de DAB, já a tangerina e o caqui ($p = 0,047$) apresentaram os piores resultados.

Sobre o incremento absoluto em volume do tronco, as espécies amora ($p < 0,0001$), goiaba ($p < 0,0001$) e ingá ($p = 0,005$) tiveram os maiores incrementos e as espécies caqui e tangerina ($p = 0,028$) tiveram os piores desempenhos.

A longevidade das espécies também afetou o desempenho das árvores, sendo que as classificadas em curta vida cresceram mais em altura e DAB em comparação as espécies de média vida. Estes resultados encontram-se nas figuras 7 e 8, e o valores de p e R^2 encontram-se nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Resultados das análises de variância para todas as respostas contidas nos resultados que apresentaram diferenças. Valores abaixo de p , *, **, *** denotam diferenças significativas ao nível de 0.05, 0.01, 0.001, respectivamente.

Anova (lmPerm)									
Respostas		Árvores	Parâmetros	G.L	Soma dos quadrados	Média da soma dos quadrados	Iter	Probabilidade (p)	R ²
Taxa de crescimento relativo	Altura	Todas as espécies	Árvore	7	49.348	7.0497	5000	2.2e ⁻¹⁶ ***	0,520
			Longevidade	1	29.103	29.1026	5000	2.2e ⁻¹⁶ ***	0,320
		Amora	Consórcio de Vizinho	6	12.5870	2.09784	5000	0,0122*	0,446
		Tangerina		6	0.28405	0.047341	5000	0,0488*	0,5178
		Todas as espécies	Forma de crescimento	3	2.307	0.76899	3158	0,07821	0,040
	Diâmetro	Todas as espécies	Árvore	7	77.467	11.0667	5000	2.2e ⁻¹⁶ ***	0,613
			Longevidade	1	37.874	37.874	5000	2.2e ⁻¹⁶ ***	0,308
			Forma de crescimento	3	2.508	0.8359	4035	0,05378	0,014
Crescimento Absoluto	Altura	Todas as espécies	Árvore	7	252174	36025	5000	2.2e ⁻¹⁶ ***	0,583
			Longevidade	1	117675	117675	5000	2.2e ⁻¹⁶ ***	0,293
		Amora	Consórcio de Vizinho	6	52651	8775.1	5000	0,0256*	0,510
		Tangerina		6	2028.1	338.02	5000	0,0272*	0,503
		Todas as espécies	Forma de Crescimento	3	11844	3948.0	270	0,3556	0,043
	Diâmetro	Todas as espécies	Árvore	7	8938.1	1276.87	5000	2.2e ⁻¹⁶ ***	0,568
			Longevidade	1	4083.5	4083.5	5000	2.2e ⁻¹⁶ ***	0,276

Tabela 1 – CONTINUAÇÃO: Resultados das análises de variância para todas as respostas contidas nos resultados que apresentaram diferenças. Valores abaixo de P, *, **, *** denotam diferenças significativas ao nível de 0.05, 0.01, 0.001, respectivamente.

Anova (lmPerm)									
Respostas		Árvores	Parâmetros	G.L	Soma dos quadrados	Média da soma dos quadrados	Iter	Probabilidade (p)	R²
			Forma de Crescimento	3	352.3	117.430	3217	0,06	0,031
	Volume	Todas as espécies	Árvore	7	1126778	160968	5000	2.2e ^{-16***}	0,4738
			Longevidade	1	419626	41626	5000	2.2e ^{-16***}	0,205
		Amora	Consórcio de vizinho	6	198740	33123	5000	0,0198*	0,576
			Todas as espécies	Forma de crescimento	3	62236	20745	2674	0,0691
Taxa de Interferência (RR)	Altura	Todas as espécies	Árvore	7	4.8123	0.68747	5000	2.2e ^{-16***}	0,150
			Forma de crescimento	2	0.1024	0.051214	150	0,6067	0,025
	Diâmetro	Todas as espécies	Árvore	7	16.703	2.38617	5000	0.0016**	0,148
			Forma de crescimento	2	0.384	0.19217	51	0,8235	0,026
Alturas das espontâneas			Forma de crescimento	3	5462	1820.67	5000	2.2e ^{-16***}	0,154
			Espécies de vizinhos	24	62899	2620.77	5000	2.2e ^{-16***}	0,084

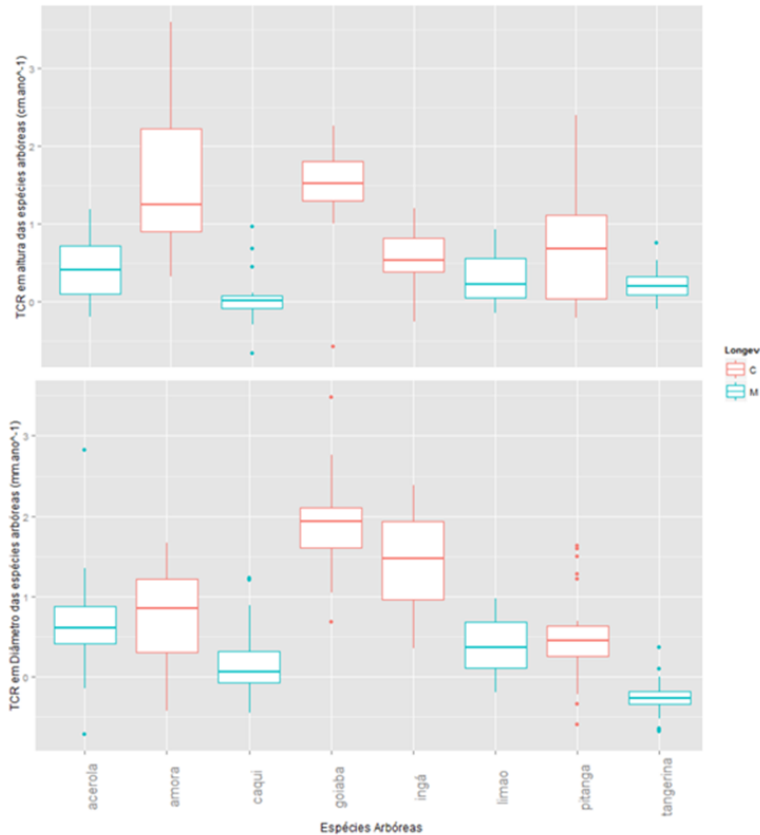
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2 - Resultados dos modelos lineares para todas as respostas que apresentaram diferenças. Valores abaixo de p , *, **, *** denotam diferenças significativas ao nível de 0.05, 0.01, 0.001, respectivamente.

Modelos Lineares (LmPerm)							
Respostas		Árvores	Parâmetros	Estimativa	Iter	Probabilidade(<i>p</i>)	R ²
Taxa de crescimento relativo	Diâmetro (mm.ano)	Todas as espécies	Altura dos vizinhos (cm)	- 0.004483	5000	0,0090**	0,045
			Projeção da coroa do vizinho (cm²)	- 0.0006126	5000	0,0086**	0,047
Crescimento Absoluto	Diâmetro (mm.ano)	Todas as espécies	Altura dos vizinhos (cm)	- 0.05274	5000	0,0004***	0,063
			Projeção da coroa do vizinho (cm²)	- 0.007369	5000	0,0044**	0,066
	Volume (cm³.ano)	Todas as espécies	Altura dos vizinhos (cm)	- 0.5822	5000	0,0088**	0,069
			Projeção da coroa do vizinho (cm²)	- 0.08531	5000	2e ⁻¹⁶ ***	0,071
Alturas das espontâneas			Altura dos vizinhos (cm)	0.171	5000	2e ⁻¹⁶ ***	0,203
			Projeção da coroa do vizinho (cm²)	0.02252	5000	2e ⁻¹⁶ ***	0,198

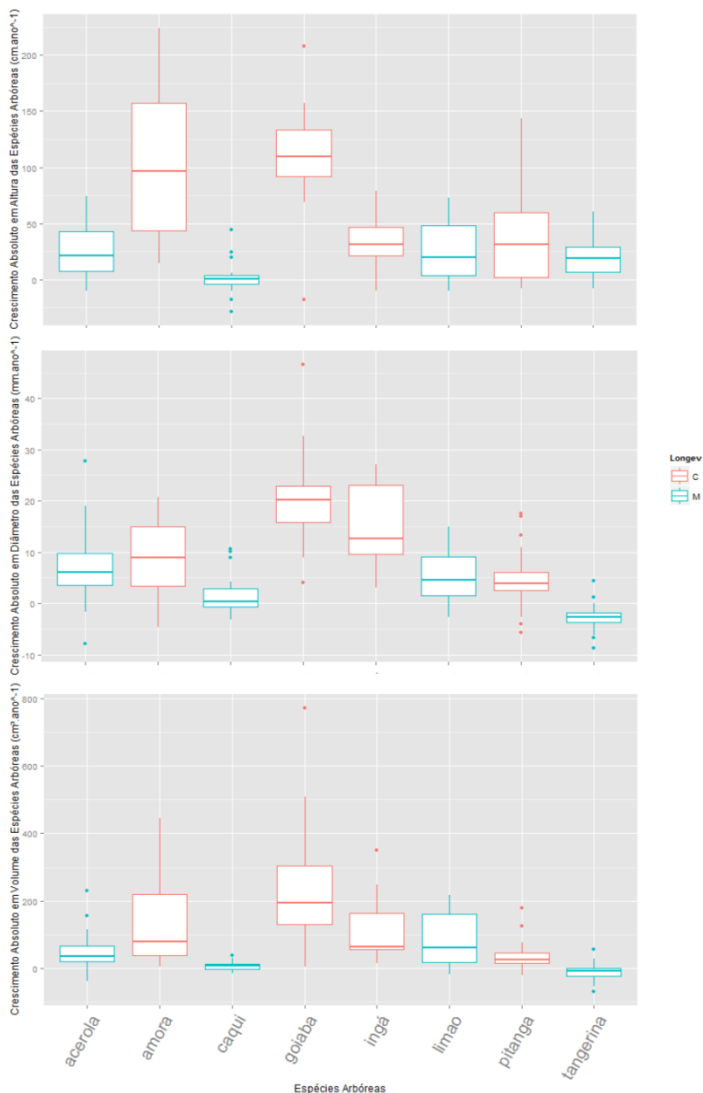
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em altura (1)(cm.ano⁻¹) e diâmetro (2)(mm.ano⁻¹) em função da identidade das espécies arbóreas e longevidade (curta=vermelho e média=azul) (média das espécies em cada forma de crescimento e sem vizinho). A classificação da longevidade foi feita de acordo com o conhecimento dos pesquisadores e apoio da literatura para serem facilmente reconhecíveis pelos agricultores. Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 - Crescimento Absoluto em altura (1)(cm.ano^{-1}) , diâmetro (2)(mm.ano^{-1}) e volume do tronco ($\text{cm}^3.\text{ano}^{-1}$) em função da identidade das espécies arbóreas e longevidade(curta=vermelho e média=azul) ((média das espécies em cada forma de crescimento e sem vizinho). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados demonstram que quanto mais o vizinho cresceu em altura e largura, menor foi o incremento em altura, diâmetro e volume do tronco das espécies arbóreas (Tabela 2).

O crescimento absoluto e a taxa de crescimento relativo das espécies arbóreas; amora (1) e tangerina (2) diferiram em função dos consórcios de vizinhos. As demais combinações não apresentaram efeito significativo. O consórcio de vizinhos foi avaliado separadamente para cada espécie de árvore, pois o experimento é composto de várias combinações de espécies e as árvores e os vizinhos possuem combinações específicas.

Na figura 9 é mostrado o resultado do efeito dos consórcios de vizinhos sobre a taxa de crescimento relativo para as espécies arbóreas amora e tangerina.

O consórcio arroz e cana ($p=0,033$) junto com batata-doce e colocásia ($p=0,037$) afetaram negativamente a taxa de crescimento relativo em altura da amora, em relação a mirtilo e tomilho ($p=0,021$) em comparação a testemunha (sem a presença de vizinhos). A taxa de crescimento relativo em altura da espécie arbórea tangerina foi afetada de maneira positiva pelo consórcio mirtilo e tomilho ($p=0,01$).

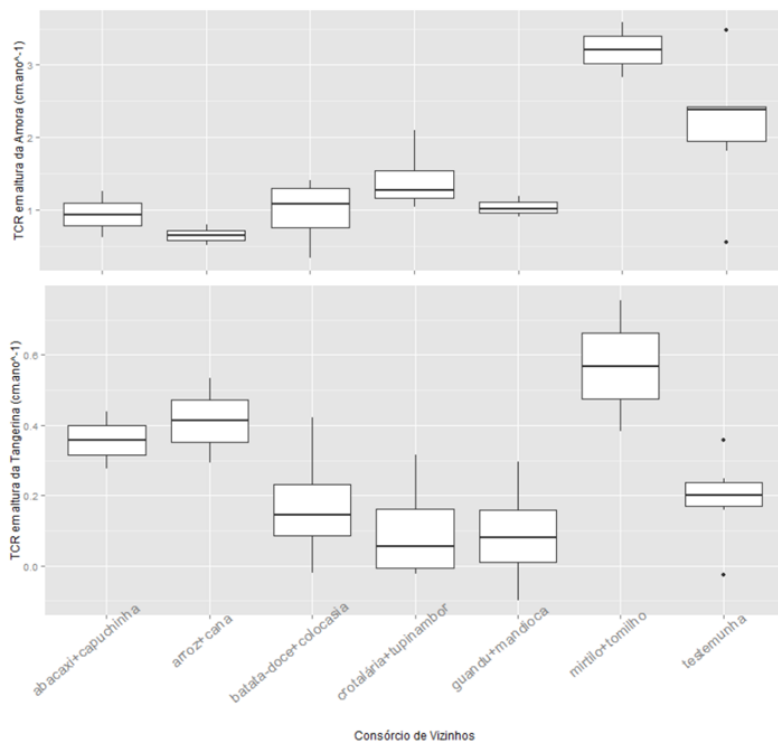
A figura 10 mostra o resultado do efeito dos consórcios de vizinhos sobre o crescimento absoluto para as espécies arbóreas amora e tangerina. O crescimento absoluto da espécie arbórea amora foi afetado negativamente pelos consórcios arroz e cana ($p=0,017$), batata-doce e colocásia ($p=0,01$). O crescimento absoluto em altura da espécie arbórea da tangerina foi positivo para o consórcio mirtilo e tomilho ($p=0,008$). Todos os consórcios foram comparados com a testemunha.

O crescimento absoluto em volume da espécie arbórea amora (figura 11) demonstrou efeito positivo para o consórcio crotalária e tupinambor ($p=0,021$) e efeitos negativos para os consórcios batata-doce e colocásia ($p=0,033$) e feijão-guandú e mandioca ($p=0,012$).

A taxa de crescimento relativo em diâmetro (figura 12) e o crescimento absoluto em diâmetro (figura 13), foram afetados pela presença de vizinhos. Já esse mesmo efeito não foi observado na altura das espécies arbóreas.

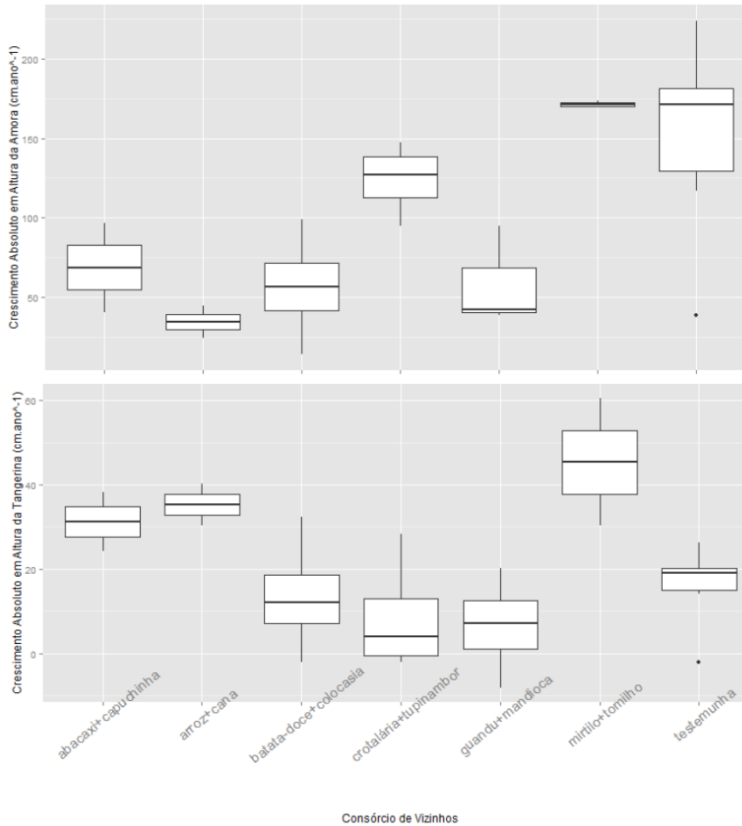
As medidas de crescimento dos vizinhos (altura dos vizinhos e projeção da coroa do vizinho) causaram efeitos sobre o crescimento das espécies arbóreas, demonstrando uma relação direta com o desempenho das árvores, onde quanto mais o vizinho cresceu em altura, menos a árvore cresceu em diâmetro altura da base e volume do tronco (figura 12 e tabela 2).

Figura 9 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em altura (cm.ano⁻¹) da amora (1) e tangerina (2) em função dos consórcios de vizinhos (média dos consórcios presentes em todos os blocos para amora e tangerina). Valores de *p* e *R*² encontrados na tabela 2.



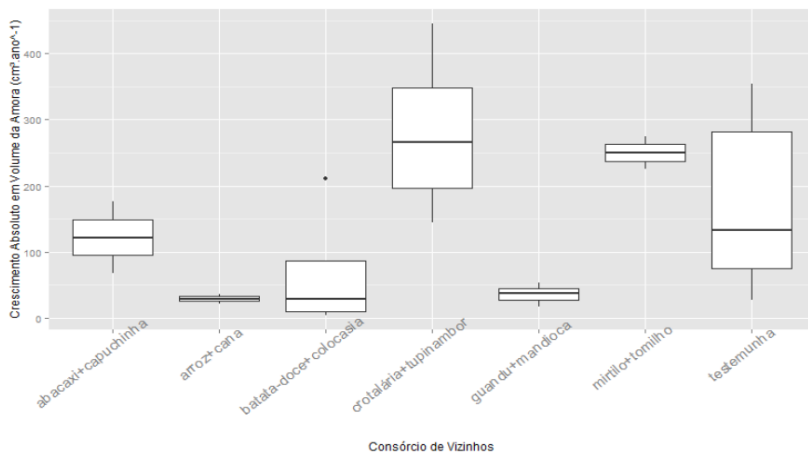
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 10 - Crescimento absoluto em altura (cm.ano^{-1}) da amora (1) e tangerina (2) em função dos consórcios de vizinhos (média dos consórcios presentes em todos os blocos para amora e tangerina). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 3.



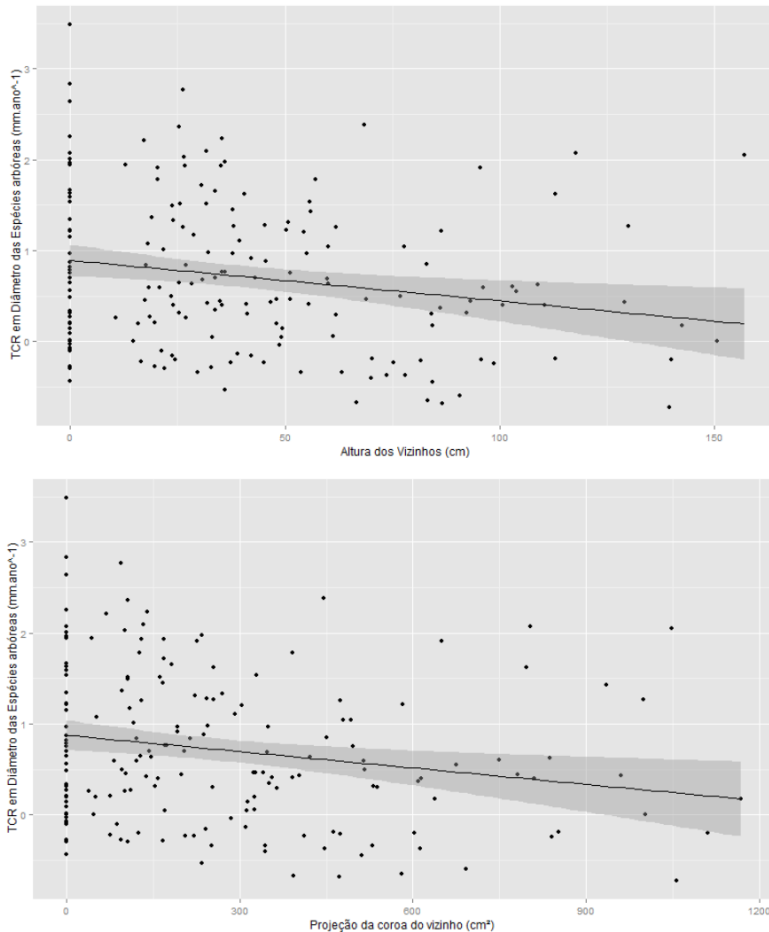
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11 - Crescimento absoluto em volume do tronco ($\text{cm}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$) da amora em função dos consórcios de vizinhos (média dos consórcios presentes em todos os blocos para amora). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.



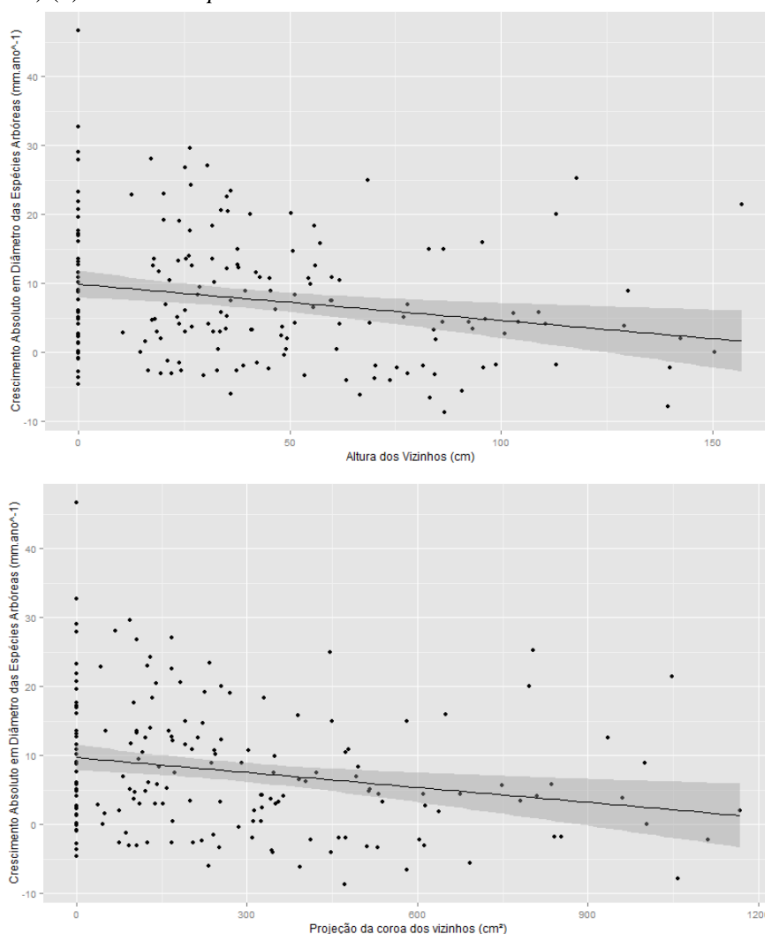
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 12 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em diâmetro das espécies arbóreas (mm.ano^{-1}) em função da altura dos vizinhos (cm) (1) e projeção da coroa dos vizinhos (cm^2) (2). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 - Crescimento absoluto em diâmetro das espécies arbóreas (mm.ano⁻¹) em função da altura dos vizinhos (cm) (1) e projeção da coroa dos vizinhos (cm²) (2). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.



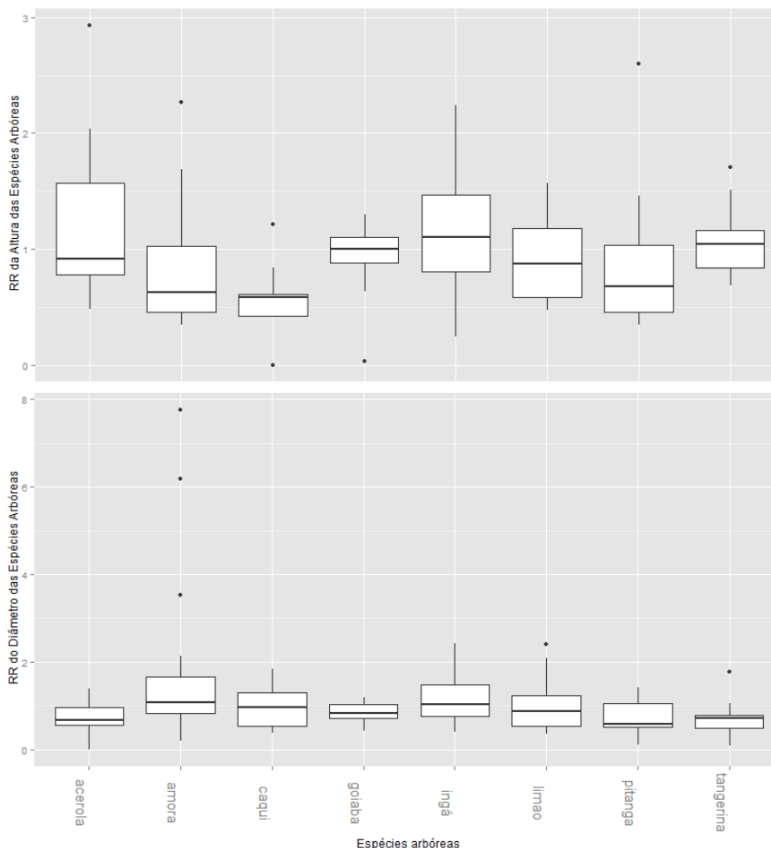
Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 AUXÍLIO AO CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS

O auxílio ao crescimento das espécies arbóreas com a presença de cultivos vizinhos pode ser melhor explicado pela identidade das espécies arbóreas, onde a identidade da espécie da árvore responde de maneira diferente sobre seu crescimento inicial (figura 14).

Para a Taxa de Interferência (RR) em altura, a espécie que melhor desempenhou com a presença de vizinhos foi a acerola ($p = 0,011$), enquanto que o caqui foi a pior ($p = 0,002$). Sobre a Taxa de Interferência em diâmetro, a amora apresentou o melhor resultado com a presença de vizinhos ($p < 0,0001$), enquanto que não houve diferença entre as demais.

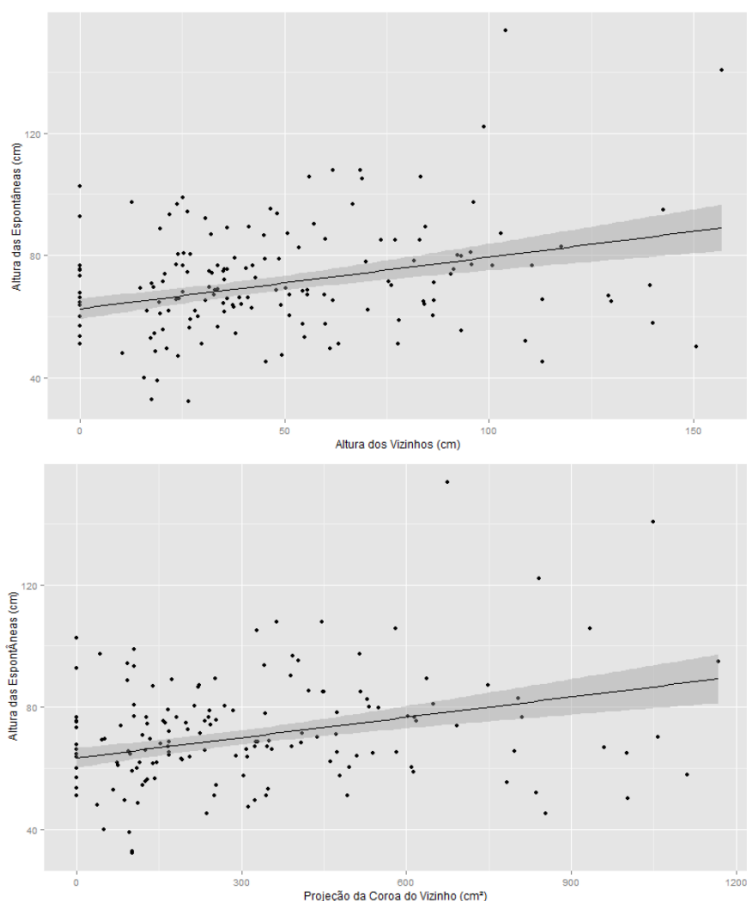
Figura 14 - Taxa de Interferência em altura (1) e diâmetro (2) pela presença de vizinhos (RR) em função da identidade da espécie arbórea. Valores acima de um indicam facilitação com a presença de vizinhos (média entre as três formas de crescimento), e valores abaixo de um indicam competição com a presença de vizinhos. Valores iguais a um indicam sem efeito. Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.



3.3 DESEMPENHO DOS VIZINHOS

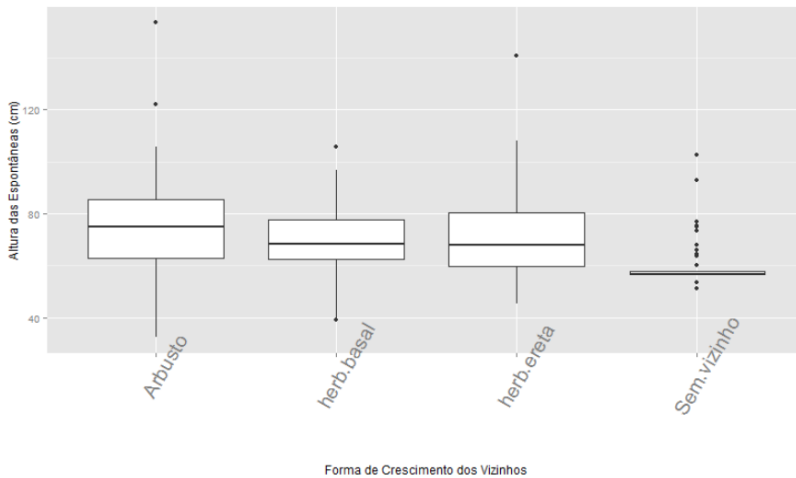
Tanto a forma de crescimento, quanto o crescimento das espécies vizinhas (altura do vizinho e projeção da coroa do vizinho) estão diretamente relacionados com o crescimento do vizinho e com o crescimento das plantas espontâneas. Este comportamento é evidenciado nas figuras 15 e 16.

Figura 15 - Altura das plantas espontâneas (cm) em função (1) da altura dos vizinhos (cm) e (2) projeção da coroa do vizinho (cm²). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16 - Altura das plantas espontâneas (cm) em função (1) da forma de crescimento dos vizinhos (cm) (média das espécies em cada forma de crescimento). Valores de p e R^2 encontrados na tabela 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

4 DISCUSSÃO

Em geral, os atributos funcionais analisados nesse estudo não explicaram o crescimento dos cultivos melhor do que a mera identidade das espécies. Observamos uma grande variabilidade no crescimento das espécies arbóreas. Nossos resultados demonstram que a identidade das espécies arbóreas, cultivos vizinhos e longevidade das espécies arbóreas explicam a maior parte da variabilidade ocorrida. Efeitos no crescimento proveniente da identidade das espécies arbóreas e consórcios vizinhos eram esperados pelas características que a própria espécie apresenta.

Atributos funcionais explicam uma pequena parte da variabilidade que está ocorrendo no crescimento das espécies arbóreas. A presença de vizinhos indica que há influência negativa (competição) no crescimento das espécies arbóreas.

Mesmo que são poucos os efeitos explicados neste trabalho por atributos funcionais, os resultados encontrados indicam que um número maior de testes é necessário. Acreditamos que modelos construídos por atributos de árvores e vizinhos tem a capacidade de explicar de maneira satisfatória os efeitos sobre o crescimento inicial de sistemas agroflorestais.

Um sistema em estágio inicial requer grandes intervenções de manejo durante o desenvolvimento das espécies para garantir o estabelecimento. Todavia é de extrema importância o estabelecimento natural destas espécies plantadas e seu crescimento, para maximizar o sucesso e minimizar a variabilidade resultando em menor custo de implantação.

4.1 DESENVOLVIMENTO DAS ESPÉCIES NO SISTEMA

4.1.1 Crescimento das espécies arbóreas

Para as condições deste SAF acreditamos que as condições de crescimento inicial em altura podem estar diretamente relacionadas com a escolha das espécies de cultivos vizinhos. Segundo Uriarte et al., (2010), efeitos finos na identidade das espécies alvo são facilmente perceptíveis sobre o seu próprio crescimento.

Áreas degradadas em início de restauração geralmente possuem recursos diferentes em comparação a florestas maduras, como níveis mais elevados de luz e menor disponibilidade de água, e espécies de estágio sucessional avançado parecem ter maior capacidade de resistir a

seca (MARTÍNEZ-GARZA et al., 2005). No entanto algumas espécies de curta vida, como *Inga edulis* apresentam falta de resposta à seca quando em estágio inicial de desenvolvimento (HOLL, 1999), e estas características individuais das espécies parecem explicar melhor o crescimento.

Por outro lado, as árvores plantadas com feijão guandu, cana de açúcar e mandioca demonstraram menor eficiência para a resposta de incremento de volume, e a biomassa da planta e o diâmetro do tronco são medidas diretamente correlacionadas com o crescimento (PAINE et al., 2015). A presença de consórcios de vizinhos de alto desempenho sugere uma competição por luz, e a espécie arbórea direcionou suas reservas para buscar a luz que era o recurso limitante para a espécie, e somente depois desenvolver crescimento em diâmetro.

As plantas apresentam geralmente comportamento ecológico parecido em uma floresta madura, enquanto que durante o seu estabelecimento, as espécies apresentam uma gama de padrões para alocação de recursos quando expostas a diferentes condições de luz, alocando biomassa preferencialmente para a parte da planta especializada na obtenção do recurso que mais limita o crescimento durante o estágio de plântula (POORTER; NAGEL, 2000) (SALDAÑA-ACOSTA; MEAVE; SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, 2009).

Resultados encontrados em outros trabalhos de pesquisa sugerem que o sucesso do estabelecimento e crescimento inicial em ecossistemas degradados está associado a grande capacidade de adaptação das espécies a uma grande variação de condições locais, especialmente condições físicas e químicas do solo, aliado a altas taxas de crescimento (ENGEL; PARROTTA, 2001).

Paine et al., (2015), testou três atributos para determinar o poder de predição global de atributos funcionais sobre o crescimento juvenil de espécies arbóreas, e curiosamente encontrou uma forte consistência entre área foliar específica, densidade do lenho e tamanho da semente, porém o poder de explicação das taxas de crescimento foi pequeno, principalmente quando analisados subconjuntos geográficos mais homogêneos, árvores juvenis de maior estatura, de taxa de crescimento maiores ou dados coletados localmente.

Em estudo comparando a estrutura de comunidades arbóreas através de atributos funcionais versus abundância e riqueza de espécies como melhores preditores para analisar o desempenho dessa comunidade, conclui-se que os atributos funcionais são bons indicadores para a evolução da estrutura da comunidade de plantas, porém esses

resultados são dependentes da escolha do conjunto de comunidades e que estudos em grande escala e de longo prazo seriam necessários para resolver ambas as questões (BARALOTO et al., 2012). Em comunidades construídas, o uso de atributos funcionais pode não apresentar os mesmos resultados, no entanto isso não descaracteriza o uso de atributos como bons preditores de desempenho em comunidades florestais.

A longevidade das espécies apresentou efeito significativo para o desenvolvimento das árvores. As espécies de curta vida desempenharam melhor sobre o crescimento em altura e incremento de volume do tronco em relação às espécies de longa vida.

Dentro deste sistema agroflorestal, espécies de diferentes longevidades de vida foram adicionadas, e as espécies de curta vida apresentaram desempenho em crescimento melhor que as espécies de longa vida. Em sistemas em início de restauração pode existir uma forte presença inicial de espécies de curta vida pelos atributos que essas espécies apresentam, os quais chama-se “deserto de pioneiras” (MARTÍNEZ-GARZA; HOWE, 2003). O conjunto de características desse tipo de planta são alta taxa de crescimento em altura e diâmetro do tronco, altura máxima e atributos foliares que conferem grande capacidade de competição e explicam o melhor desempenho dessas espécies. Isto é observado na comparação do gênero *Inga* e *Eugenia*, onde as espécies do gênero *Inga* desempenharam muito melhor em crescimento e estabelecimento no ambiente (MARTÍNEZ-GARZA et al., 2005).

4.1.2 Crescimento dos vizinhos

Efeitos negativos são geralmente encontrados nas relações entre árvores e seus vizinhos, e a força do efeito pode ser aumentada com filtros ambientais, principalmente quando ocorrem estresses ambientais (URIARTE et al., 2010). A literatura científica aponta para a importância dos efeitos que acontecem entre espécies vizinhas, principalmente efeitos negativos para o crescimento (GÓMEZ-APARICIO, 2009).

Os resultados apresentados indicam uma forte relação de competição entre vizinhos e espécies arbóreas. Parte do efeito dessa competição é explicada pela identidade dos consórcios e pela sua capacidade de crescimento, tanto em altura quanto em coroa.

Era esperado que efeitos negativos fossem encontrados, devido a grande capacidade de competição que plantas herbáceas apresentam durante o primeiro ano após o plantio, quando comparadas a cultivos florestais.

Muitos recursos naturais são requeridos por um amplo grupo de espécies vegetais, e essas espécies acabam competindo por água, luz, nutrientes e espaço.

Gómez-aparicio (2009), demonstra efeitos de competição sobre o crescimento das espécies arbóreas com vizinhos herbáceos, no entanto, para arbustos o efeito é positivo. Resultado este que, foi encontrado neste trabalho, mas com apenas alguns consórcios, como mirtilo e tomilho em amora e tangerina.

Mesmo que sejam poucas as interações positivas, esse resultado é muito interessante para o desenvolvimento de Sistemas Agroflorestais bem sucedidos, com maior sobrevivência, auxílio ao crescimento (ou pelo menos sem competição), menor uso de insumos e mão-de-obra na fase crítica de SAFs.

Porém, vizinhos de alto desempenho, independente da forma de crescimento como este é classificado, afetou negativamente algumas espécies arbóreas, como mandioca e feijão-guandú, arroz e cana e colocasia e batata-doce. Este resultado sugere que a característica da espécie de vizinho causou efeito direto sobre a árvore, pois todas as árvores receberam todas as formas de crescimento, mas nem todas as árvores tiveram interação com todos os consórcios. Isso demonstra que a altura das plantas vizinhas causa efeitos negativos no crescimento inicial das árvores.

Para os resultados encontrados sobre o crescimento das plantas espontâneas e espécies de vizinhos, onde, quanto mais o vizinho cresceu as plantas espontâneas acompanharam esse crescimento. Esse resultado pode estar relacionado ao histórico da área, onde havia uma plantação de palmeira real abandonada, e houve adubação com nitrogênio e fósforo na área, e esse efeito da adubação pode explicar esse resultado. Não podemos afirmar com total certeza por não realizar amostragem de solo de todas as 192 subparcelas.

Sugerimos que para futuros experimentos deve se pensar na importância de separar as classificações de arbustos em lento e rápido crescimento. Dessa maneira, classificar como arbusto de lento crescimento as espécies: orégano, tomilho, mirtilo e ora-pro-nóbis, pois não apresentaram um significativo crescimento em altura dentro de 12

meses de avaliação. Em relação aos demais arbustos de rápido crescimento, percebe-se esta diferença e necessidade de readaptação.

Como segunda sugestão, seria a necessidade de diminuir o número de espécies do consórcio de vizinhos de duas para uma espécie. Primeiro para replantar os vizinhos com melhor desempenho e garantir melhores produções para o ano seguinte, pois as árvores ainda não estão produzindo, e aumentar o número de repetições e interações entre árvores e vizinhos da mesma espécie. Assim, um número maior de espécies arbóreas terá interação com essa espécie de vizinho, para averiguar se a identidade da espécie explicará na segunda estação de crescimento o desempenho das espécies arbóreas, ou se o uso de atributos funcionais poderá explicar de maneira satisfatória o desempenho das espécies arbóreas. Como se trata da avaliação do primeiro ano de experimento, recomenda-se escolher para futuros estudos as espécies que apresentem melhor resposta para os objetivos deste trabalho, bem como a resposta de adaptação de cada espécie em relação às nossas condições em Santa Catarina.

4.2 USO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS E IMPLICAÇÕES PARA O DESENHO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS

A implantação de um sistema agroflorestal envolve diversos custos, além do tempo que as espécies arbóreas irão demorar a produzir alimentos, fibra e energia. Ademais os agricultores apresentam dificuldades de manejo pela falta de informação especializada (VIEIRA et al., 2007).

Se os atributos da comunidade de plantas têm a capacidade de afetar o crescimento das espécies, com consistência global, isso implicaria que atributos podem servir como uma poderosa ferramenta na tomada de decisão para entender o conjunto de fatores que determinam a taxa de crescimento das espécies, e isso implicaria em uma nova geração de modelos robustos de dinâmicas de vegetação (PAINE et al., 2015).

Algumas áreas degradadas têm condições ambientais que impedem determinadas espécies de se estabelecer, e o ambiente físico possui um filtro ecológico tal que as espécies com exigências ecológicas semelhantes são encontrados em ambientes similares, agindo como um padrão que se refere ao nicho (CARLSON et al., 2010; MYERS E HARMS, 2011). As taxas de crescimento podem variar mais fortemente sobre as relações ambientais ou os atributos de crescimento podem variar ao longo de gradientes ambientais (PAINE et al., 2015) e o

crescimento inicial de espécies arbóreas em plantações agroflorestais é um bom indicador do seu desempenho a médio e longo prazo, portanto pode determinar o sucesso da implantação (MARTÍNEZ-GARZA; BONGERS; POORTER, 2013).

Ainda é pequeno o número de estudos em sistemas agroflorestais que utilizam atributos funcionais como ferramenta para afetar o desempenho das espécies. Na restauração de áreas degradadas atributos funcionais são muito usados como ferramenta para escolha das espécies, e é possível afetar as espécies que se estabelecerão ao longo dos anos (CORNELISSEN et al., 2003; URIARTE et al., 2010).

A longevidade das espécies arbóreas é uma categorização grosseira formulada para diferenciar as espécies de acordo com o tempo de vida, produção e fácil reconhecimento dos agricultores. Esta categorização explicou parte do efeito que está ocorrendo sobre o crescimento inicial arbóreo e demonstra que é possível que atributos funcionais possam explicar a variação que está acontecendo no crescimento inicial.

Alguns atributos se apresentam como bons indicadores para afetar o desempenho em comunidades vegetais, os quais, podem ser extrapolados para sistemas montados, que são densidade específica do lenho (wood specific gravity), altura máxima da árvore (maximum tree height), tamanho da semente (seed mass), nitrogênio foliar, fósforo foliar, área foliar e área foliar específica, fenologia vegetativa e conteúdo de matéria seca da folha (URIARTE et al., 2010; DIAS, 2014; PAINE et al., 2015).

Para que sistemas com maior riqueza de espécies sejam implementados com sucesso e baixo custo será imprescindível a evolução da pesquisa com o uso de atributos funcionais. Por outro lado, o uso de espécies pode levar a populações se estabelecerem com baixa riqueza de espécies para aumentar as chances de sucesso na implantação e a diminuição dos custos ou aumentar as intervenções em manejo, criando assim uma espécie de filtro artificial de seleção de espécies.

Como próximo passo é necessário à compilação de outros atributos das árvores e dos vizinhos que tenham maior capacidade de explicar as respostas do experimento.

4.3 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

A expectativa com o uso de atributos/tipos funcionais era que pudéssemos agrupar espécies com características parecidas para afetar

com eficiência o crescimento de sistemas agroflorestais. Assim poder-se-ia recomendar tipos funcionais onde as espécies seriam adequadas conforme cada realidade ambiental. Todavia, quando falamos de restauração de áreas degradadas, o ambiente funciona como um filtro que impõe restrições ao estabelecimento de espécies e que espécies com necessidades ecológicas similares são encontradas em ambientes similares. Em SAF, as intervenções de manejo também podem ser consideradas como filtros, como retirada de plantas espontâneas, colocação de cobertura morta, adubações, podas, etc... que promovem o estabelecimento das espécies de interesse. Assim, existe um conflito entre os filtros ambientais e as intervenções de manejo, onde queríamos responder essa questão com este trabalho. Os atributos funcionais apresentam grande capacidade de afetar o desempenho inicial de espécies, no entanto é necessário aumentar o número de atributos testados, tanto das espécies arbóreas quanto dos cultivos vizinhos para que seja possível utilizar menos esforço na escolha de espécies específicas que nem sempre apresentam os resultados esperados.

Observou-se que a distância e a densidade das espécies vizinhas foi limitante para causar efeito sobre as espécies arbóreas. No planejamento inicial, sobre as coroas das espécies vizinhas, ou seja, a área que ela ocuparia com o pleno desenvolvimento, esperava-se que as espécies rapidamente crescessem e ocupassem todo o espaço disponível no entorno da espécie arbórea, tanto em altura quanto em diâmetro. No entanto, não foi o observado e os arbustos de lento crescimento tiveram dificuldades com a distância e a densidade.

Na contramão da falta de efeitos, alguns consórcios competiram fortemente com as espécies arbóreas, causando diminuição no incremento em DAB e Volume do tronco. Para as espécies possíveis, como o feijão guandú, a recomendação é a intervenção com poda, que pode favorecer muito a espécie arbórea com o aporte de biomassa na subparcerla, já para espécies que não possibilitam essa técnica seria necessário aumentar a distância, diminuir a densidade ou avaliar se os efeitos negativos são capazes de impedir o desenvolvimento ao ponto de afetar a sobrevivência da espécie arbórea.

Muitas espécies de vizinhos tiveram problemas de se instalar no experimento, com baixo crescimento e alta mortalidade. Para estas espécies durante o segundo ciclo de crescimento a recomendação é substituí-las por espécies que apresentaram melhor desempenho durante o ciclo inicial de crescimento.

5 CONCLUSÕES

Alguns atributos funcionais se mostraram eficazes para explicar o crescimento de espécies arbóreas em sistema agroflorestal, tanto da própria espécie (longevidade de vida) quanto os dos cultivos vizinhos (forma de crescimento, altura das espécies, crescimento médio da seção da coroa do vizinho). No entanto, a identidade das espécies arbóreas e dos consórcios de vizinhos teve efeito significativo no crescimento e na Taxa de Interferência no crescimento das espécies arbóreas. O crescimento do vizinho foi explicado pela forma de crescimento dos vizinhos, e altura das plantas espontâneas.

Em geral, os atributos funcionais analisados nessa pesquisa não foram os mais adequados para generalizar critérios de seleção de espécies de cultivos mais prováveis de competir com a vegetação espontânea durante a fase inicial de estabelecer sistemas agroflorestais. Para recomendar as combinações mais promissoras de tipos de cultivos para sistemas agroflorestais de forma mais generalizável é imprescindível aumentar o número de atributos funcionais testados, visando maior crescimento e saúde inicial, produção precoce e melhor relação custo-benefício de sistemas agroflorestais sem prejudicar a conservação dos recursos naturais.

Como recomendação para agricultores, algumas diretrizes são claras. O uso de espécies de vizinhos com alta capacidade de competição e/ou rápido crescimento se mostrou eficaz para competir com a vegetação espontânea, mas também competiu com as espécies arbóreas. Dessa maneira, o uso de plantas de rápido crescimento, mas que aceitem podas se mostraram interessantes, desde que tenha disponibilidade de mão-de-obra para fazer a poda antes dos cultivos começarem a competir entre si. E o uso de capinas se mostrou custoso em mão-de-obra e dinheiro, sendo recomendado o uso de espécies que eliminem ou diminuam a necessidade de capina.

Para espécies com pouca capacidade de competição recomenda-se o plantio com altas densidades. Sempre utilizar espécies adaptadas às condições iniciais do local, que em geral possuem alta quantidade de luz, solos degradados e baixa capacidade de retenção de água.

O uso de agrupamentos de espécies com características similares por conhecimento empírico, feito pelos agricultores pode ser uma ferramenta interessante na instalação de SAFs, uma vez que,

tornaria facilmente reconhecível aos agricultores esses grupamentos e sua aplicação prática.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, A; CABIDO, M. Morphological Analysis of Herbaceous Communities under Different Grazing Regimes Morphological analysis of herbaceous communities under different grazing regimes. **Journal of Vegetation Science**, v. 1992, n. 5, p. 689–696, 2013.
- ALSTON, J. M., J. M. BEDDOW, PARDEY, P.G. Agricultural Research, Productivity, and Food Prices in the Long Run. **Science**. v.325, n. 5945, p.1209-1210, set. 2009.
- BARALOTO, C. et al. Using functional traits and phylogenetic trees to examine the assembly of tropical tree communities. **Journal of Ecology**, v. 100, n. 3, p. 690–701, 2012.
- BENTES-GAMA, M. de M.; SILVA, M. L. da; VILCAHUAMÁN, L. J. M.; LOCATELLI, M. Análise econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia ocidental, machadinho d’oeste – RO. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.401-411, 2005
- Bob Wheeler (2010). lmPerm: Permutation tests for linear models. R package version 1.1-2. <http://CRAN.R-project.org/package=lmPerm>
- CORNELISSEN, J. H. C. et al. Functional traits of woody plants: correspondence of species rankings between field adults and laboratory-grown seedlings? **Journal of Vegetation Science**, v. 14, n. 3, p. 311–322, 2003.
- CORNELISSEN, J.H.C.; QUESTED, H.M.; VAN LOGTESTIJN, R.S.P. et al. Foliar pH as a new plant trait: can it explain variation in foliar chemistry and carbon cycling processes among subarctic plant species and types? **Oecologia**, v.147, p.315-326. 2006.
- CARLSON, M. L. et al. Community development along a proglacial chronosequence: Are above-ground and below-ground community structure controlled more by biotic than abiotic factors? **Journal of Ecology**, v. 98, n. 5, p. 1084–1095, 2010.
- DIAS, E. Atributos funcionais predizem sobrevivência e regeneração arbórea em diferentes modelos de restauração na floresta estacional

semidecidual. **Dissertação**. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis. 2014.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 16, n. 11, p. 646–655, 2001.

DÍAZ, S.; ACOSTA, A.; CABIDO, M. Morphological analysis of herbaceous communities under different grazing regimes. **Journal of Vegetation Science**, v. 3, n. 5, p. 689–696, 1992.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p. 169–181, 2001.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA S.A. (EPAGRI). **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do estado de Santa Catarina**. Florianópolis, 2007.

FARRELL, J.G.; ALTIERI, M. A. Sistemas agroflorestais. In: ALTIERI, M.A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Editora Agropecuária, 2002, 592p.

FLETCHER, E.H. Et al. Effect of root competition and shade on survival and growth of nine woody plant taxa within a pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] alley cropping system. **Agroforest System**, v.86, p.49–60, 2012.

FOLEY, J.A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v.478, n.7369, p.337–342, 2011.

GARNIER, E.; NAVAS, M.-L. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. **Agron. Sustain. Dev**, v.32, p. 365–399. 2012.

GÓMEZ-APARICIO, L. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life-forms and ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 97, n. 6, p. 1202–1214, 2009.

GÓMEZ-POMPA, A. Three levels of conservation by local people. In: Biodiversity, science and development: towards a new partnership. **Cab International**. 1996. p. 347-356.

GOMIERO, T.; PAOLETTI, M. G. et al. Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 27, n. 4, p. 239-254. 2008.

GOMIERO, T.; PIMENTEL, D. et al. Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v.30, n. 1-2, p. 95-124. 2011.

GOMIERO, T.; PIMENTEL, D. et al. Is There a Need for a More Sustainable Agriculture? **Critical Reviews in Plant Sciences**. v.30, n.1-2, p. 6-23. 2011.

GOOD, P.I. Permutation, Parametric and Bootstrap Tests of Hypotheses. New York: **Springer**, 2005.

HOLL, K. D.; HOII, K. D. Factors Limiting Tropical Rain Forest Regeneration in Abandoned Pasture : Seed Rain , Seed Factors Limiting Tropical Rain Forest Regeneration in Abandoned Pasture : Seed Rain , Seed Germination , and Soil '. v. 31, n. 2, p. 229-242, 1999.

JOSE, S.; GORDON, A M. Ecological Knowledge and Agroforestry Design : An Introduction. **Young**, n. 352, p. 3-9, 2008.

KEDDY, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. **Journal of Vegetation Science**, v. 3, n. 2, p. 157-164, 1992.

KELTY, M.J. The role of species mixtures in plantation forestry. **Forest Ecology and Management**. v. 233, p.195-204, 2006.

LAVOREL, S.; DÍAZ, S.; CORNELISSEN, J.H.C. et al. Plant Functional Types: Are We Getting Any Closer to the Holy Grail? In: CANADELL, J.G.; PATAKI, D.;

LEBRIJA-TREJOS. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system Author (s): Edwin Lebrija-Trejos , Eduardo A . Pérez-García , Jorge A . Meave , Frans Bongers and Published by : Ecological Society of America conte. **Ecology**, v. 91, n. 2, p. 386–398, 2014.

MALEZIEUX, E. , Y. CROZAT, C. DUPRAZ, M. LAURANS, D. MAKOWSKI, H. O.-L.; B. RAPIDEL, S. DE TOURDONNET, M. V.-M. ET. AL. Review article Mixing plant species in cropping systems : concepts , tools and models . A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 43–62, 2009.

MALÉZIEUX, E. Designing cropping systems from nature. **Agronomy for Sustainable Development**, v.32, n.1, p. 15-29. 2012.

MARCOS,G.M. Et al. Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. **Agroforest Systems**, v.70, p.25-40, 2007.

MARTÍNEZ-GARZA, C.; BONGERS, F.; POORTER, L. Are functional traits good predictors of species performance in restoration plantings in tropical abandoned pastures? **Forest Ecology and Management**, v. 303, p. 35–45, 2013.

MARTÍNEZ-GARZA, C. et al. Restoring tropical biodiversity: Leaf traits predict growth and survival of late-successional trees in early-successional environments. **Forest Ecology and Management**, v. 217, n. 2-3, p. 365–379, 2005.

MARTÍNEZ-GARZA, C.; HOWE, H. F. Restoring tropical diversity: Beating the time tax on species loss. **Journal of Applied Ecology**, v. 40, n. 3, p. 423–429, 2003.

MCGILL, B. J. et al. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in ecology & evolution (Personal edition)**, v. 21, n. 4, p. 178–85, 2006.

MYERS, J. A.; HARMS, K. E. Seed arrival and ecological filters interact to assemble high-diversity plant communities. **Ecology**, v. 92, n. 3, p. 676–686, 2011.

PAINE, C. E. T. et al. Globally, functional traits are weak predictors of juvenile tree growth, and we do not know why. **Journal of Ecology**, v. 103, n. 4, p. 978–989, 2015.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S; GARNIER, E. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v.61, p.167-234. 2013.

PILLAR, V. de P. On the Identification of Optimal Plant Functional Types. **Journal of Vegetation Science**. V. 10, n. 5, p. 631-40. 1999.

PITELKA, L. **Terrestrial Ecosystems in a Changing World**. The IGBP Series, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 2007.

POORTER, H.; NAGEL, O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 27, n. 12, p. 595-1191, 2000.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

RODRIGO, V.H.L. Et al. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. **Field Crops Research**, v.69, p.237-249, 2001.

RODRIGUES, E.R.; CULLEN JÚNIOR, L.; MOSCOGLIATO, A.V. et al. O uso do sistema agroflorestal taungya na restauração de reservas legais: indicadores econômicos. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

SALDAÑA-ACOSTA, A.; MEAVE, J. A; SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L. R. Seedling biomass allocation and vital rates of cloud forest tree species: Responses to light in shade house conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1650–1659, 2009.

SANDERSON, M.A.; ARCHER, D.; HENDRICKSON, J. et al. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: outcomes from pastures and integrated crop-livestock systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v.28, n.2, p.129–144, 2013.

SIEBENEICHLER, S.C.; FREITAS, G.A. de; SILVA, R. R. da. et al. Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (vell.) tol. em condições de luminosidade. Manaus, **Acta amazônica**, v.38, n.3, p. 467-472. 2008.

SIMINSKI, A.; MONTOVANI, M.; REIS, M.S.; FANTINI, A. C. Sucessão florestal secundária no município de São Pedro de Alcântara, litoral de Santa Catarina: estrutura e diversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 21-33. 2004.

SIQUEIRA, A. P. P. DE; SIQUEIRA, M. F. B. DE. Bokashi Adubo Orgânico Fermentado. **Programa Rio Rural**, v. 40, n. 1983-5671, p. 16, 2013.

URIARTE, M. et al. Trait similarity, shared ancestry and the structure of neighbourhood interactions in a subtropical wet forest: implications for community assembly. **Ecology Letters**, v. 13, n. 12, p. 1503–1514, 2010.

VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. The matrix and a future paradigm for conservation. **Conservation Biology**. v.21, n.1, p.274-277. 2007.

VIEIRA, T. A. et al. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 549–558, 2007.

VIOLLE, C.; NAVAS, M-L.; VILE, D. et al. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, n.5, p. 882-892. 2007.

WEINER, J. Ecology – the science of agriculture in the 21st century. **The Journal of Agricultural Science**, v. 141, n. 3-4, p. 371, 2003.

YIN, R.; HE, Q. The spatial and temporal effects of paulownia intercropping: the case of northern China. **Agroforestry Systems**, v.37, p. 91–109, 1997.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Espécies utilizadas no experimento em São Pedro de Alcântara

Qualidade de biomassa	Forma de crescimento	Nome comum	Nome científico	Material de propagação
Alta	Árvores	Amora	<i>Morus nigra</i>	Estacas
		Ingá-banana	<i>Inga vera=uruguensis</i>	Mudas
		Limão-cravo	<i>Citrus × limon (= Citrus x limonia)</i>	Mudas
		Tangerina - Bergamota (p.ex. Montenegrina)	<i>Citrus reticulata</i>	Mudas
	Arbustos	Feijão guandu	<i>Cajanus cajan</i>	Sementes
		Ora-pro-nobis	<i>Pereskia grandifolia</i>	Estacas
		Mandioca	<i>Manihot esculenta</i>	Manivas
		Manjerição	<i>Ocimum americanum L.</i>	Mudas
	Herbáceas basais	Batata-doce	<i>Ipomoea batatas</i>	Ramos
		Taro	<i>Colocasia esculenta</i>	Tubérculos
		Abóbora	<i>Cucurbita maxima Duchesne ex Lam.</i>	Sementes
		Taioba-mansa - variedade com folha comestível	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	Tubérculos
	Herbáceas eretas	Topinambur; alcachofra-de-jerusalém	<i>Helianthus tuberosus</i>	Tubérculo
		Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	Sementes
		Crotalaria	<i>Crotalaria spectabilis</i>	Sementes
		Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Sementes

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO: Espécies utilizadas no experimento em São Pedro de Alcântara

Qualidade de biomassa	Forma de crescimento	Nome comum	Nome científico	Material de propagação
Baixa	Árvores	Goiaba	<i>Psidium guajava</i>	Mudas
		Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	Mudas
		Caqui cv. Fuyu	<i>Diospyros kaki</i>	Mudas
		Acerola	<i>Malpighia puniceifolia</i> L. (ou <i>Malpighia glabra</i>)	Mudas
	Arbustos	Mirtilo	<i>Vaccinium ashei</i> / <i>V. corymbosum</i>	Mudas
		Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	Mudas
		Tomilho	<i>Thymus vulgaris</i>	Mudas
		Alecrim	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Mudas
	Herbáceas basais	Capuchinha	<i>Tropaeolum majus</i>	Sementes
		Gengibre	<i>Zingiber officinale</i>	Rizoma
		Abacaxi	<i>Ananas comosus</i>	Mudas
		Açafrão-da-terra, cúrcuma	<i>Curcuma longa</i>	Rizoma
	Herbáceas eretas	Cana-de-açúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Colmos
		Milho	<i>Zea mays</i>	Sementes
		Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	Sementes
		Arroz-sequeiro	<i>Oryza sativa</i>	Sementes

APÊNDICE B - pontos de plantio, distância do alvo, número de germoplasma por ponto e profundidade de plantio por subparcela.

Nome comum	Número de pontos de plantio/subparcela	Distância do alvo em centímetros	Propágulos/ pontos de plantio	Profundidade de plantio em centímetros
Amora	1	Plantadas no ponto central das subparcelas	1	Substrato ao nível do solo
Ingá-banana				
Limão-cravo				
Tangerina - Bergamota				
Goiaba				
Pitanga				
Caqui				
Acerola				
Feijão guandu	4	60	10	3
Ora-pro-nobis	4	60	2	10
Mandioca	4	60	2	5
Manjerição	4	60	2	substrato ao nível do solo
Mirtilo	4	60	1	substrato ao nível do solo
Orégano	4	60	1	substrato ao nível do solo
Tomilho	4	60	1	substrato ao nível do solo
Alecrim	4	60	1	substrato ao nível do solo
Batata – doce	4	60	2	5
Abóbora	4	60	3	4

APÊNDICE B – CONTINUAÇÃO: pontos de plantio, distância do alvo, número de germoplasma por ponto e profundidade de plantio por subparcela.

Nome comum	Número de pontos de plantio/subparcela	Distância do alvo em centímetros	Propágulos/ pontos de plantio	Profundidade de plantio em centímetros
Taro	8	45	2	5
Taioba-mansa	8	45	2	5
Capuchinha	4	60	3	3
Cúrcuma	8	45	1	substrato ao nível do solo
Gengibre	8	45	2	5
Abacaxi	8	45	1	5
Tupinambur	8	45	2	5
Feijão-de-porco	8	45	3	4
Crotalária	12	30	5	2
Feijão	8	30	3	3
Cana-de-açúcar	4	60	2	5
Milho	8	45	10	3
Sorgo	8	45	3	3
Arroz-sequeiro	12	30	10	2

APÊNDICE C - composição de espécies, longevidade das espécies e consórcios entre árvores e cultivos vizinhos.

Composição de espécies	Tempo de vida	Espécies arbóreas	Consórcio com vizinhos
Composição 1	Curta Vida	Amora	Arroz-sequeiro + Cana-de-açúcar Mirtilho + Tomilho Abacaxi + Capuchinha Crotalária + Tupinambur Taro + Batata-doce Feijão- guandú + Mandioca
		Pitanga	
	Média Vida	Caqui cv. Fuyu	
		Tangerina - Bergamota	
Composição 2	Curta Vida	Goiaba	Alecrim + Orégano Cúrcuma + Gengibre Milho + Sorgo Feijão + Feijão-de-porco Taro + Abóbora Ora-pró-nóbis + Manjerição
		Ingá-banana	
	Média Vida	Limão-cravo	
		Acerola	

